



---

**Universidad de Valladolid**  
**Campus de Palencia**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

**Máster en Ingeniería Agronómica**

**Bioestimulación en planta de lavandín: una  
estrategia frente al cambio climático.**

Alumno: Juan Jesús Elices Ayuso

Tutor: Baudilio Herrero Villacorta

Cotutor: Jorge Martín García

Directora: Felicidad López Sainz

Noviembre de 2023

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
2.1. Situación actual y motivación .....	2
2.1.1. La crisis climática.....	2
2.1.2. El sistema cerealista actual.....	3
2.2. Alternativas al sistema cerealista de secano.....	5
2.2.1. El cultivo de aromáticas, una alternativa rentable .....	5
2.2.2. Situación de las plantas aromáticas en España .....	9
2.3. El cultivo de lavandín: debilidades y oportunidades .....	11
2.3.1. Descripción - Características morfológicas y fisiológicas .....	11
2.3.2. Variedades comerciales de lavandín.....	13
2.3.2.1. Abrial.....	13
2.3.2.2. Super.....	13
2.3.2.3. Grosso.....	13
2.3.2.4. Producciones.....	13
2.3.3. Evolución del cultivo de lavandín en España .....	14
2.3.4. Técnicas de cultivo .....	15
2.3.5. Oportunidades del cultivo de lavandín .....	18
2.3.6. Debilidades del cultivo de lavandín .....	19
2.4. Técnicas de estimulación – PRIMING.....	21
2.4.1. Papel de las hormonas en el priming .....	23
2.4.2. Tipos de priming .....	24
2.4.2.1. Priming por temperaturas extremas.....	24
2.4.2.2. Priming por sequía .....	24
2.4.2.3. Priming por microorganismos .....	25
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>26</b>
<b>4. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
4.1. Material vegetal .....	27
4.2. Material bioestimulante .....	27
4.2.1. TRATAMIENTO 1 .....	28
4.2.2. TRATAMIENTO 2 .....	29
4.2.3. TRATAMIENTO 3 .....	29
4.2.4. TRATAMIENTO 4 .....	30
4.2.5. TRATAMIENTO 5 .....	30

---

4.3. Diseño experimental .....	30
4.4. Análisis estadístico .....	36
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>37</b>
5.1. Muestreos morfo-fisiológicos sobre plantas en envase individual .....	37
5.1.1. Primer muestreo .....	37
5.1.2. Segundo muestreo.....	39
5.1.3. Tercer muestreo.....	40
5.1.4. Muestreos cuarto y quinto.....	42
5.2. Muestreos morfológicos sobre bandejas forestales.....	44
5.2.1. Muestreo a los 80 días.....	44
5.2.2. Muestreo a los 128 días.....	45
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>7. REFERENCIAS .....</b>	<b>48</b>

---

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Volumen de mercado mundial de las distintas categorías de PAMs para la serie de años 2011-2020 en miles de dólares .....	7
Tabla 1 (continuación). Volumen de mercado mundial de las distintas categorías de PAMs para la serie de años 2011-2020 en miles de dólares.....	8
Tabla 2. Ranking de los 8 países más exportadores de PAMs para la media del periodo 2011-2020 y su participación en valor de mercado por categorías.....	8
Tabla 3. Rendimientos medios y máximos en aceite esencial en kg/ha, en función de la variedad de lavandín.....	14
Tabla 4. Características geográficas de Palencia (Castilla y León, España).....	27
Tabla 5. Relación de tratamientos bioestimulantes utilizados y el tipo de sustancia empleada.....	28
Tabla 6. Contenido declarado del TRATAMIENTO 1. ....	28
Tabla 7. Composición del TRATAMIENTO 1 en aminoácidos (en % p/p) .....	29
Tabla 8. Contenido declarado del TRATAMIENTO 2. ....	29
Tabla 9. Contenido declarado del TRATAMIENTO 3. ....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diferencia entre la temperatura media global anual y la temperatura media del siglo XX (1901 – 2000), para el periodo 1880 – 2022 .....	2
Figura 2. Distribución por Comunidades Autónomas de la superficie de plantas aromáticas y medicinales total cultivada en España .....	10
Figura 3. Evolución de la superficie cultivada (ha) de plantas aromáticas (principalmente lavanda y lavandín) en España y en las principales comunidades para el periodo 2012-2021 .....	15
Figura 4. Plantación del lavandín .....	16
Figura 5. Recolección del lavandín .....	18
Figura 6. Diagrama de la relación entre las respuestas de defensa (líneas sólidas) y la salud (líneas punteadas) en plantas estimuladas (rojas) contra las no preparadas (azules).....	22
Figura 7. Relación del ácido abscísico (ABA) con el resto de fitohormonas ante el estrés .....	24
Figura 8. Características de la bandeja de cultivo de 48 alveolos .....	30
Figura 9. Características del envase forestal individual reutilizable.....	31
Figura 10. (A) Disposición aleatoria de las bandejas de cultivo con distintos tratamientos. (B) agrupación por tratamientos en cajas de 40 envases forestales individuales. ....	31
Figura 11. (A) Lavado de parte radicular. (B) Secado y preparación de parte radicular para peso fresco. (C) Introducción de parte aérea en sobre de papel para peso fresco. ....	33
Figura 12. Cámara Scholander modelo M 1505D .....	34
Figura 13. Introducción de tallo de planta en cámara Scholander para medida del potencial hídrico.....	35
Figura 14. Clasificación de plantas según su categoría morfológica. ....	35
Figura 15. Resultados de los parámetros referentes a la medida de la biomasa del primer muestreo morfo-fisiológico sobre plantas en envase individual. ....	38
Figura 16. Resultados de los parámetros potencial hídrico (A) y contenido relativo en agua (B) del primer muestreo morfo-fisiológico sobre plantas en envase individual....	39
Figura 17. Resultados de los parámetros referentes a la medida de la biomasa del segundo muestreo morfo-fisiológico sobre plantas en envase individual. ....	40
Figura 18. Resultados de los parámetros potencial hídrico (A) y contenido relativo en agua (B) del segundo muestreo morfo-fisiológico sobre plantas en envase individual. ....	40
Figura 19. Resultados de los parámetros referentes a la medida de la biomasa del tercer muestreo morfo-fisiológico sobre plantas en envase individual. ....	41
Figura 20. Resultados de los parámetros potencial hídrico (A) y contenido relativo en agua (B) del tercer muestreo morfo-fisiológico sobre plantas en envase individual....	41
Figura 21. Resultados de los parámetros referentes a la medida de la biomasa del cuarto muestreo morfo-fisiológico (tras 7 días de rehidratación) sobre plantas en envase individual.....	42

---

Figura 22. Resultados de los parámetros potencial hídrico (A) y contenido relativo en agua (B) del cuarto muestreo morfo-fisiológico (tras 7 días de rehidratación) sobre plantas en envase individual.....	43
Figura 23. Resultados de los parámetros referentes a la medida de la biomasa del quinto muestreo morfo-fisiológico (tras 14 días de rehidratación) sobre plantas en envase individual.....	43
Figura 24. Resultados de los parámetros potencial hídrico (A) y contenido relativo en agua (B) del quinto muestreo morfo-fisiológico (tras 14 días de rehidratación) sobre plantas en envase individual.....	44
Figura 25. Resultados del muestreo morfológico sobre bandejas forestales a los 80 días, divididos por categorías morfológicas.....	45
Figura 26. Resultados del muestreo morfológico sobre bandejas forestales a los 128 días, divididos por categorías morfológicas.....	46

## 1. RESUMEN

El cambio climático supone una gran amenaza para las producciones agrícolas tal y como las conocemos. En este sentido, el cultivo del lavandín (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.), se muestra como una producción agrícola alternativa al sistema cerealista tradicional de secano, por ser un cultivo rústico, rentable y mejorante de la biodiversidad del agroecosistema. Sin embargo, el lavandín tiene como principal desventaja unos costes de plantación elevados. Por ello, su rentabilidad depende de un correcto arraigo de las plantas durante el primer año de cultivo. Este arraigo se ve comprometido por distintos tipos de estrés abiótico, principalmente, el estrés hídrico. Existen técnicas de bioestimulación que se han demostrado útiles para combatirlo, favoreciendo una activación más eficiente de los mecanismos de defensa de las plantas. La bioestimulación no solo mejora la respuesta de la planta frente a factores bióticos y abióticos adversos, sino que también actúan como promotores del crecimiento facilitando la asimilación de nutrientes y mejorando el desarrollo morfológico.

En el presente Trabajo de Fin de Máster se llevaron a cabo distintas estrategias de bioestimulación en plántones de lavandín de la variedad Super en invernadero. Para ello, se utilizaron 5 tipos de tratamientos bioestimulantes a base de aminoácidos, fitohormonas, rizobacterias, hongos y combinaciones de ellos. Además, se estableció un grupo control que no recibió bioestimulación. Hay que resaltar que, días después de la inoculación de los bioestimulantes, tuvo lugar un episodio fortuito de calor extremo que condicionó la efectividad posterior de los tratamientos. Para evaluar y comparar las técnicas de estimulación empleadas, se efectuaron 5 muestreos morfo-fisiológicos, los cuales se basaron en la medida de los parámetros: peso fresco (PF) y peso seco (PS) de la parte aérea (PA) y la parte radicular (PR) de la planta, el contenido relativo en agua (CRA) de sus hojas, y el potencial hídrico del tallo. Para el primero de estos muestreos se comparó la respuesta de las plantas a los tratamientos sin privación de agua de riego. Para los muestreos segundo y tercero se sometió a las plantas a 7 y 14 días de estimulación por sequía respectivamente. Los muestreos cuarto y quinto se llevaron a cabo tras un proceso de rehidratación de los plántones de 7 y 14 días respectivamente. Además, como apoyo a estos muestreos, se realizaron 2 evaluaciones morfológicas a los 80 y a los 128 días del estaquillado, consistentes en la inspección visual de los plántones para su clasificación según el vigor.

Los resultados mostraron cómo tras 7 días de estrés por sequía los plántones estimulados con aminoácidos y fertilizante NPK presentaron un mayor desarrollo en su parte aérea. Además, tras 14 días de sequía las plantas alcanzaban un falso punto de no retorno en la medida del potencial hídrico. A pesar de ello, después de 7 y 14 días de rehidratación, las plantas retomaron la actividad vegetativa. Por su parte, el primer ensayo morfológico reveló que, a corto plazo, la bioestimulación mediante la hormona ácido indol butírico (AIB) fue más beneficiosa para los plántones que el resto de los tratamientos. También se pudo ver cómo los tratamientos basados en rizobacterias y Fe generaron un efecto adverso sobre las plantas. Es posible que el Fe, unido al calor extremo, generasen fitotoxicidad en los plántones inoculados. Las rizobacterias pudieron agudizar este efecto, movilizándolo el Fe para ponerlo a disposición de la planta.

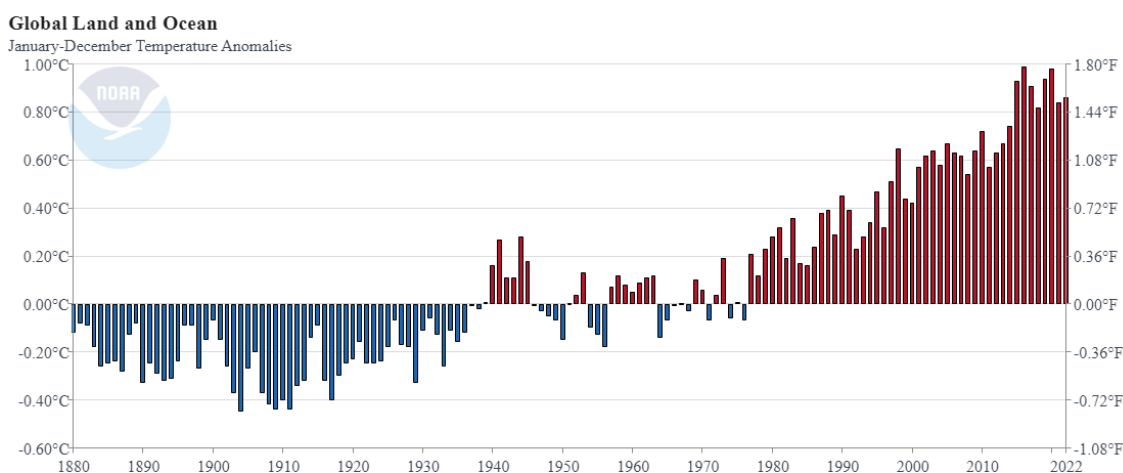
Según los antecedentes y los resultados mostrados, se puede concluir que, a pesar de no obtener los resultados esperados, las estrategias de bioestimulación sobre la planta de lavandín tienen un potencial notable. Sin embargo, se necesitaría mayor investigación sobre el tema, tanto en vivero como en campo, teniendo siempre en cuenta la relación coste/beneficio de las técnicas y productos utilizados.

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1. Situación actual y motivación

#### 2.1.1. La crisis climática

El año 2022 fue el sexto más cálido desde 1880, que comenzaron los registros, con 0,86 °C por encima de la media global anual del siglo XX, que es de 13,9 °C. Además, los 9 últimos años (2014 – 2022) fueron los más cálidos de la serie histórica (Figura 1) (NCEI, 2023). De forma general se puede decir que la temperatura global anual ha aumentado a una tasa promedio de 0,08 °C por década desde 1880 y a 0,18 °C por década desde 1981 (NCEI, 2022). Este incremento de la temperatura del planeta viene acompañado de fenómenos meteorológicos extremos recurrentes, tales como amplios periodos de sequía, o lluvias torrenciales. Todo esto es consecuencia directa de las actividades humanas y, principalmente, del empleo de combustibles fósiles en la industria, la agricultura y la ganadería, actividades que generan gases de efecto invernadero (Cheng et al., 2023; Lindsey et al., 2023; U.S. Global Change Research Program, 2018). Existe un consenso general entre la comunidad científica de que estos cambios asociados al calentamiento global probablemente afectarán de forma drástica e impredecible, no solo a la producción agrícola y la seguridad alimentaria, sino también a la economía y el comercio internacional, así como a la civilización humana (Benkeblia, 2022).



**Figura 1.** Diferencia entre la temperatura media global anual y la temperatura media del siglo XX (1901 – 2000), para el periodo 1880 – 2022 (NCEI, 2023).

El cambio climático global traerá consigo un desplazamiento de los hábitats de los cultivos y un descenso en sus rendimientos, además de aumentar sus necesidades de agua de riego (Iglesias et al., 2011). El agua disponible para riego y su gestión ya está generando conflictos en algunas partes del mundo, y éstos se acrecentarán en el futuro. En este sentido, es probable que en el año 2050 la demanda de agua supere ampliamente la oferta, a menos que haya alternativas en las estrategias de gestión y cambios en los hábitos de consumo (Claire et al., 2019). Las investigaciones indican que la producción agrícola será más vulnerable ante plagas y enfermedades; así como ante una mayor probabilidad de eventos meteorológicos extremos tales como el aumento de la temperatura global y de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera, olas de calor, inundaciones, tormentas intensas y sequías. La salinidad y la erosión del suelo también se verán incrementadas. La adaptación a estas condiciones



inciertas supone un desafío que se añade a una alta presión de desarrollo, con la población mundial en crecimiento (Field et al., 2014; Parry, 1990). La población mundial en aumento tiene demandas crecientes para la producción de cultivos y, en consecuencia, para 2050, es muy probable que la producción agrícola mundial deba duplicarse para satisfacer dicha demanda (Skendžić et al., 2021).

A este respecto, la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2015 (COP21), que concluyó con el Acuerdo de París, tenía como objetivo fundamental evitar que el incremento de la temperatura media global superase los 2 °C respecto a los niveles preindustriales (años de 1850 a 1900), y, además, promover esfuerzos adicionales que hicieran posible que el calentamiento global no superase los 1,5 °C (UNFCCC, 2015). No obstante, ahora sabemos que, según los últimos datos publicados por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2023), hay un 66% de probabilidades de que entre 2023 y 2027 la temperatura media mundial anual supere en más de esos 1,5 °C los niveles preindustriales durante al menos un año. Además, se prevé que la temperatura global media anual cercana a la superficie para cada año entre 2023 y 2027 sea entre 1,1 °C y 1,8 °C más alta que el promedio de los años 1850-1900. También existe un 98% de probabilidades de que al menos uno de los próximos cinco años, así como el lustro en su conjunto, sean los más cálidos jamás registrados.

Para afrontar tales desafíos, distintos organismos internacionales han desarrollado políticas contra el cambio climático. Es el caso de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, o el Pacto Verde Europeo, impulsado por la Comisión Europea. Ambas iniciativas integran distintas disciplinas o áreas, tales como: medio ambiente, clima, energía, transporte, industria, agricultura y finanzas; todas ellas fuertemente interconectadas entre sí. El Pacto Verde Europeo es una de las seis políticas prioritarias de la Comisión Europea. Su objetivo es convertir a Europa en el primer continente climáticamente neutro para 2050. Incluye varias estrategias para lograr su objetivo, con la estrategia De la Granja a la Mesa como baza principal. Esta estrategia engloba acciones generales como garantizar la producción sostenible de alimentos; estimular el procesamiento sostenible de alimentos; promover el consumo sostenible de alimentos, facilitando el cambio hacia dietas saludables y sostenibles; y reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos. De forma más específica para la agricultura, la estrategia De la Granja a la Mesa propone una reducción del 50% en el uso de productos fitosanitarios químicos, reducir un 20% el empleo de fertilizantes de origen químico, incrementar el total de la superficie agraria destinada a la producción ecológica hasta el 25% del total, y reducir la pérdida de nutrientes y de fertilidad en el suelo en un 50%. La agenda 2030 para el desarrollo sostenible, por su parte, abarca 17 objetivos fundamentales, en los que la agricultura se sitúa en el centro. Las acciones relevantes para este sector incluyen: facilitar el acceso a recursos para mejorar la productividad agrícola, fomentar la mecanización y el uso de tecnología avanzada; promover los sistemas alimentarios locales, fomentar la diversificación de cultivos en la producción; mejorar el conocimiento y la capacidad de los agricultores a través del asesoramiento y la formación, regenerar la salud del suelo a través de mejores prácticas de gestión, proteger el agua y gestionar su escasez a través de medidas de eficiencia, y adoptar la conservación de la biodiversidad como medida principal para proteger los ecosistemas (Aalmo et al., 2022; Claire et al., 2019; Wesseler, 2022).

### **2.1.2. El sistema cerealista actual**

La agricultura es, junto con la caza y la recolección, la forma más antigua que tiene la sociedad de relacionarse con su ambiente para obtener de sus servicios y recursos el

sustento diario. A lo largo de decenas de miles de años esta relación ha ido cambiando a medida que la tecnología le permitía a la sociedad aumentar el rendimiento de su producción agrícola para alejarse del peligro del hambre que Malthus señalara en los albores de la Revolución Industrial. La tecnificación de agricultura y el constante aumento en la producción de alimentos han sido un éxito en la historia de los siglos XX y XXI, especialmente en la década de los 60s; y se espera que la agricultura sea capaz de alimentar la población estimada de 9.700 millones de personas para 2050 (Lal, 2016; Reboratti, 2010).

Actualmente, la superficie agraria mundial cuenta con aproximadamente 4.800 millones de ha, lo que supone el 38% de la superficie de tierra mundial, siendo el 70% de ésta dedicada a cultivos de secano. En la Península Ibérica, los sistemas de secano más extensos son los cerealistas, con alrededor de 11 millones de ha (Alarcón et al., 2022a; FAO, 2020). Los cereales suponen la base de la dieta humana, aportando el 44% de las calorías y el 37% de las proteínas en una ingesta diaria media. En el caso de España, este sistema de cultivo ha contribuido en gran medida a garantizar la seguridad alimentaria de sus habitantes, logrando que en nuestro país se produzcan aproximadamente 21 millones de toneladas de grano al año, en una superficie de alrededor de 6 millones de ha (Aranjuelo et al., 2022; MAPA, 2022).

Sin embargo, la hegemonía del sistema cerealista genera controversia por sus posibles efectos perniciosos sobre el medio ambiente. Entre ellos se incluyen la compactación del suelo por el uso excesivo de maquinaria; la erosión del suelo y su bajo contenido en materia orgánica debido al laboreo intensivo; la contaminación de aguas subterráneas y superficiales con fertilizantes (principalmente por nitratos) y pesticidas; la reducción de la biodiversidad ecológica (incluyendo, como consecuencia, mayor vulnerabilidad de los cultivos a plagas y enfermedades); y altas tasas de emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero, debido principalmente a la dependencia del petróleo como fuente de energía. A estos efectos medioambientales se añaden los socioeconómicos, como el acaparamiento de la tierra por parte de los grandes tenedores, o la pérdida de poder adquisitivo de los habitantes de las zonas rurales (Brox, 2018; Woodhouse, 2010).

Ante tal problemática, se necesita una transformación profunda de los sistemas agrarios. Para ello, se requieren enfoques de manejo distintos, llevados a cabo desde la agroecología. La utilización de la teoría ecológica en el diseño de estrategias agronómicas puede resultar una herramienta útil, siendo la biodiversidad (de los cultivos y de las especies silvestres) un elemento clave para reducir la dependencia de insumos externos en los procesos productivos. Una de estas estrategias agronómicas es la diversificación de cultivos, que se ha señalado como una oportunidad para reducir la dependencia de insumos y de energía, y potenciar también la diversidad asociada a los agroecosistemas. Esta diversificación presenta distintos retos, derivados de la integración de diferentes prácticas agrícolas que aumentan la complejidad del agroecosistema y de su manejo. En el marco político, el plan estratégico para la nueva Política Agraria Común (PAC) de España refuerza esta estrategia al incluir la rotación de cultivos como un eco-régimen. En el mismo sentido, cabe recordar la necesidad de implantar estrategias como la De la Granja a la Mesa o la Agenda 2030 mencionadas en el apartado anterior, en las que la diversificación de cultivos se postula como uno de los objetivos fundamentales en ambos documentos (Alarcón et al., 2022a, 2022b).

## 2.2. Alternativas al sistema cerealista de secano

En el apartado anterior se ha señalado la importancia de la diversificación de cultivos para adaptarse al cambio climático y prevenir otros efectos perniciosos sobre el medio ambiente. La diversificación de cultivos, además, se ha demostrado beneficiosa, no solo para la seguridad alimentaria de la población en su conjunto, sino también para la estabilidad económica de los agricultores y el desarrollo de las zonas rurales en general (Adjimoti y Kwadzo, 2018; Vernooy, 2022).

Si bien en los regadíos las alternativas al sistema cerealista son numerosas, las posibilidades se ven sensiblemente reducidas en los secanos áridos. Una opción viable se encuentra en los cultivos leñosos. No obstante, leñosos tradicionalmente mediterráneos, como la vid y el olivo, se enfrentan a distintas dificultades de índole técnico, social, económico o administrativo. Algunos de estos problemas pueden ser: la escasez de mano de obra especializada; el difícil acceso a ciertos canales comerciales, especialmente fuera de figuras de calidad; la necesidad de, en algunos casos, autorizaciones de plantación por parte de la administración; o los altos desembolsos iniciales que estos cultivos suponen, sobre todo para aquellos sistemas de explotación más tecnificados (Medina-Albaladejo y Planas, 2018; Solé et al., 2014). Otro tipo de leñosos que son susceptibles de encajar como alternativa en los secanos áridos son los frutos secos, especialmente aquellos con menores necesidades hídricas, como, por ejemplo, el almendro o el pistacho. Sin embargo, este tipo de cultivos suponen inversiones iniciales elevadas difícilmente justificables para algunos agricultores, y que pueden poner en entredicho la viabilidad técnica y económica de su explotación. También se trata de cultivos con una alta necesidad de especialización y tecnificación, sobre todo, cuando se habla de producción ecológica y los nuevos sistemas superintensivos de formación en seto. Además de todo esto, y a pesar de los esfuerzos llevados a cabo en mejora varietal en los últimos años buscando su adaptación a climas fríos, muchas zonas de elevada altitud no son idóneas para estos cultivos debido al elevado riesgo de heladas que comprometerían gravemente su producción (Iglesias et al., 2021).

El cultivo de plantas aromáticas y medicinales (PAMs), por su parte, minimiza o elimina algunos de los problemas que presentan los cultivos anteriormente citados. Por ejemplo, si bien es cierto que la implantación del cultivo de algunas PAMs, como puede ser el lavandín, conlleva un coste considerable, éste no es comparable al de otros cultivos como almendro, pistacho o vid. Además, aunque las aromáticas requieran de maquinaria específica; por su porte arbustivo y su carácter menos leñoso que otros cultivos, estas máquinas tienen menor complejidad técnica que la que exigiría una cosechadora autocabalgante, por ejemplo. También conviene destacar que las aromáticas comprenden técnicas de cultivo y procesado altamente mecanizadas y automatizadas, lo que supone unos costes en mano de obra reducidos para el agricultor. Por todo esto, el cultivo de PAMs se muestra como una alternativa viable, tanto técnica como económicamente hablando (García, 2014; Navarro, 2018).

### 2.2.1. El cultivo de aromáticas, una alternativa rentable

Las plantas aromáticas y medicinales incluyen miles de especies de plantas con efectos fisiológicos específicos de sus compuestos sobre la salud, el sabor de los alimentos y el bienestar. Aunque se conocen más de 50.000 especies, solo se comercializan unas 1.500, y de éstas, solo entre 50 y 100 se obtienen del cultivo. Las PAMs se pueden encontrar en todas las familias de plantas existentes, y su uso no solo se restringe al consumo humano, sino que se extiende cada vez más a la alimentación animal y a la

defensa fitosanitaria (Ahad et al., 2021). Los vegetales de este grupo presentan una característica común, que es, su elevado contenido en sustancias con propiedades químicas, bioquímicas y organolépticas específicas, que permiten su utilización como plantas aromáticas, medicinales, condimentarias, etc. A estas sustancias se les denomina: principios activos y principios inmediatos. Los principios activos: alcaloides, heterósidos, flavonoides, etc. son aquellas sustancias, que ejercen una acción beneficiosa o perjudicial sobre el organismo, y los vegetales que las elaboran son las plantas medicinales. Su utilidad fundamental es servir como medicamento, o como base para su elaboración. Los principios inmediatos: prótidos, glúcidos y lípidos, son sustancias que no actúan sobre las funciones fisiológicas del organismo, pero que le son imprescindibles para mantenerse vivos, y son la base nutritiva directa de los animales herbívoros e indirecta a través de estos, de los carnívoros. Los vegetales que elaboran estas sustancias son las plantas alimenticias, y su clasificación y registro debe figurar en el Código Alimentario (Cases, 2007).

El descubrimiento y el aprovechamiento de estas plantas por parte del ser humano se remonta a tiempos antiguos, en los que se basaban en el ensayo-error, y en los conocimientos ancestrales (Ahad et al., 2021). Según testimonios históricos en el Papiro de Ebers (2227 a.C.), se citan varias drogas, se habla de su cultivo, de cómo prepararlas, etc., entre otras se cita la adormidera. Algo similar se puede decir de las esencias, en China, India y Persia se destilan plantas aromáticas desde hace miles de años. En Egipto, cuarenta siglos antes de Cristo ya preparaban esencia de cedro. El primer alambique de destilación de piedra se remonta a 3.000 años a.C. En la Edad Media los árabes perfeccionaron la destilación de las plantas aromáticas, favoreciendo el desarrollo de la naciente Farmacia. La esencia de romero fue una de las primeras aisladas, y se utilizaba mezclada con alcohol. En el siglo XV se conocían las esencias de almendras amargas, espliego, canela, rosa, salvia y lavanda entre otras, en el siglo XVI ya eran conocidas unas sesenta y en el XVIII aparece el agua de colonia (Cases, 2007). De esta forma, este tipo de plantas y los conocimientos sobre sus aplicaciones fueron intercambiados entre culturas y se incorporaron al saber universal (Ahad et al., 2021).

En la actualidad, tanto la sociedad como las administraciones públicas cada vez prestan más atención a la salud de la población, y, por lo tanto, a la calidad de los productos que éstos consumen. Esto provoca que todos los actores participantes en la cadena de valor de estos productos aborden las expectativas de los consumidores (abastecimiento de materias primas, innovación de productos, trazabilidad, calidad y seguridad) al mismo tiempo que tienen en cuenta la sostenibilidad en diferentes contextos (ambiental, social y económico). Esta tendencia ha impulsado a su vez una creciente demanda de extractos de origen vegetal, y en especial de aromáticas y medicinales, por parte de las industrias farmacéutica, agroalimentaria, cosmética y agroquímica (Argyropoulos, 2019). La Organización Mundial de la Salud (OMS) define las PAMs tradicionales como aquel material vegetal de origen natural que se utiliza en ausencia de medicamentos industriales para el tratamiento de enfermedades a escala local o regional, y ha indicado que la inmensa mayoría de la población de los países en vías de desarrollo depende directamente de plantas medicinales y aromáticas para atender sus necesidades médicas básicas. Se calcula, además, que más de tres cuartas partes de la población mundial utilizan algún tipo de derivado de PAMs; y que aproximadamente, el 60% fármacos y medicamentos modernos contiene este tipo de plantas en su composición activa. En los Estados Unidos, por ejemplo, 118 de los 150 principales medicamentos recetados se basan en fuentes naturales. (Shafi et al., 2021; Taghouti et al., 2022; WildMAPsFiT, 2020). A parte de la importancia de las PAMs en la

salud humana, éstas también son esenciales para la sanidad animal. Y es que la evidencia científica ha corroborado los numerosos beneficios que aportan ciertas plantas que han sido empleadas tradicionalmente por la medicina veterinaria popular, o etnoveterinaria, para el tratamiento o prevención de distintas enfermedades animales (Pascual y Herrero, 2021). En lo que a la producción de PAMs para cosméticos se refiere, Según las estadísticas de la Asociación Europea de Cosméticos (<https://cosmeticseurope.eu>), en los países miembros de la UE se gastaron en 2022 alrededor de 88.000 millones de euros en cosméticos, lo que convierte a Europa en el mayor mercado de cosméticos del mundo. Además de los segmentos de mercado tradicionales, el mercado de alimentos y suplementos alimenticios se encuentra en rápido crecimiento en Europa, y presenta importantes oportunidades para agricultores, recolectores locales, administraciones públicas, fabricantes y distribuidores. Otro sector prometedor se encuentra en el mercado de agroquímicos, con el uso de extractos de plantas como productos fitosanitarios ecológicos. De hecho, las alternativas a los pesticidas sintéticos tienen un gran potencial para un mayor desarrollo debido a la creciente demanda de productos ecológicos por parte de los consumidores europeos (Argyropoulos, 2019).

La superficie global cultivada de PAMs en 2021 ascendió a 12,7 millones de hectáreas en todo el mundo, siendo la producción cosechada de 90,8 millones de toneladas. Las importaciones alcanzaron aproximadamente 9 millones de toneladas y 21,2 millones de dólares. Por su parte, las exportaciones alcanzaron los 9,2 millones de toneladas y los 21 millones de dólares (Spina et al., 2023). En total, se calcula que el mercado mundial de PAMs tenga un valor superior a los 68.000 millones de dólares. Sin embargo, es difícil precisar las cifras, ya que no hay un consenso global sobre qué productos se incluyen dentro de la categoría de PAMs (Türkekel y Yildiz, 2021). En la tabla 1 aparecen las distintas categorías en las que, de forma general, se pueden subclasificar las PAMs y su valor de mercado mundial para cada año de la serie 2011-2020.

**Tabla 1.** Volumen de mercado mundial de las distintas categorías de PAMs para la serie de años 2011-2020 en miles de dólares. Adaptado de Türkekel y Yildiz (2021).

	Café, té, mate y especias	Plantas medicinales	Gomas, resinas, jugos y extractos	Aceites esenciales	Total
2011	51.255.925	2.539.936	7.939.374	3.634.883	65.370.118
2012	48.641.432	2.663.893	12.736.899	3.674.944	67.717.168
2013	45.355.147	3.467.213	9.237.509	3.966.056	62.025.925
2014	49.644.156	3.559.692	8.656.524	4.450.614	66.310.986
2015	48.180.272	3.140.843	6.898.080	4.846.850	63.066.045
2016	48.476.499	3.201.753	6.734.226	4.734.472	63.146.950
2017	52.088.378	3.194.721	7.230.626	5.431.453	67.945.178
2018	49.749.048	3.215.550	8.122.695	5.955.614	67.042.907

**Tabla 1 (continuación).** Volumen de mercado mundial de las distintas categorías de PAMs para la serie de años 2011-2020 en miles de dólares. Adaptado de Türkekul y Yıldız (2021).

	Café, té, mate y especias	Plantas medicinales	Gomas, resinas, jugos y extractos	Aceites esenciales	Total
2019	49.179.452	3.242.997	8.064.189	5.642.249	66.128.887
2020	51.828.339	3.554.136	7.901.192	5.290.510	68.574.177
Media (2011-2020)	49.439.865	3.178.073	8.352.131	4.762.765	65.732.834
% del total	75,21%	4,83%	12,71%	7,25%	100%
Incremento (2011-2020)	1,12%	39,93%	-0,48%	45,55%	4,90%

Como se puede ver en la tabla 1, la mayor parte del mercado está ocupada por la categoría denominada como “café, té, mate y especias”. Sin embargo, los productos que más crecieron en volumen de negocio fueron los referentes a las “plantas medicinales” y los “aceites esenciales”. En la tabla 2, por su parte, se puede ver el ranking de los países más exportadores de PAMs para la media del periodo 2011-2020, y su participación en el valor de mercado dentro de las cuatro categorías.

**Tabla 2.** Ranking de los 8 países más exportadores de PAMs para la media del periodo 2011-2020 y su participación en valor de mercado por categorías. Adaptado de Türkekul y Yıldız (2021).

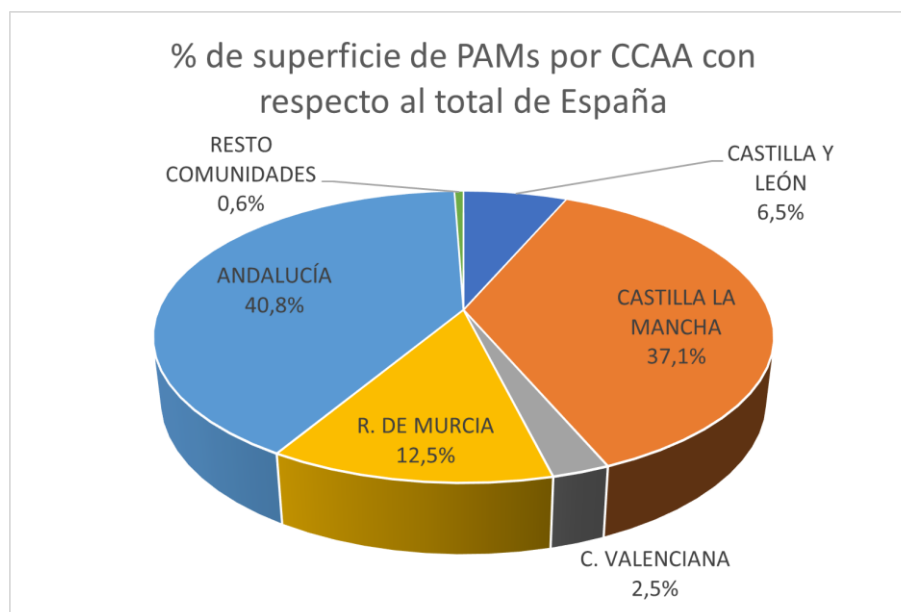
	Café, té, mate y especias		Plantas medicinales		Gomas, resinas, jugos y extractos		Aceites esenciales	
	Valor (miles de dólares)	%	Valor (miles de dólares)	%	Valor (miles de dólares)	%	Valor (miles de dólares)	%
Brasil	5.702.824	11,5	11.791	0,4	113.406	1,4	298.753	6,3
China	2.832.507	5,7	975.219	30,7	1.303.793	15,6	412.404	8,7
India	3.062.604	6,2	253.875	8,0	1.984.097	23,8	746.025	15,7
Alemania	3.123.785	6,3	166.738	5,2	560.312	6,7	187.705	3,9
Vietnam	4.114.703	8,3	18.762	0,6	27.623	0,3	10.483	0,2
EEUU	1.182.696	2,4	159.966	5,0	622.134	7,4	639.050	13,4
Canadá	601.128	1,2	167.252	5,3	66.548	0,8	58.324	1,2
Francia	1.097.877	2,2	54.236	1,7	591.062	7,1	392.373	8,2
Mundo	49.439.865	100	3.178.073	100	8.352.131	100	4.762.765	100

### 2.2.2. Situación de las plantas aromáticas en España

En España y el resto de los países mediterráneos, las PAMs también forman parte del patrimonio cultural y de la vida espiritual. Estos países están dotados de unas condiciones agroclimáticas favorables que los hacen ideales para el cultivo y recolección de PAMs. Además, existe una creciente demanda de este tipo de materias primas en todo el Mediterráneo, lo que puede explicarse por esa larga tradición en el uso de plantas, el gran interés por los ingredientes naturales, las dietas saludables y la necesidad de una alimentación más tradicional a base de productos con un fuerte arraigo cultural. Estas plantas, por lo tanto, siempre se han empleado en preparaciones domésticas como remedios naturales, bebidas, repostería y alimentos (Taghouthi et al., 2022). En nuestro país existen más de 1.000 plantas autóctonas consideradas PAMs frente a las más de 8.000 especies de plantas presentes en el territorio, lo que a nivel europeo es un caso excepcional. La gran mayoría de estas PAMs son poco conocidas. El hecho de ser un territorio rico en flora aromática y medicinal autóctona, y el creciente interés de los consumidores, le convierte en un país muy interesante para el sector. No obstante, la dependencia de las importaciones de otras materias primas complementarias y la alta competencia global amenazan su competitividad potencial. En España, el sector de las PAMs es complejo y eso dificulta calcular con precisión las superficies cultivadas y las producciones obtenidas. Esta complejidad se debe a varias características como la amplia diversidad de especies botánicas, así como de modelos de producción, productos y mercados finales. Aunque la comercialización de PAMs en España es menor que la de otros cultivos, estos productos tienen un alto valor de mercado y una gran capacidad para generar empleo a través de los procedimientos de cultivo, transformación y comercialización. España se encuentra en un lugar relativamente bien posicionado en términos de comercio europeo, aunque existen desequilibrios en la balanza importación/exportación. Y es que, en este sector, las importaciones del mercado internacional tienen una gran influencia en los precios de compra, teniendo en cuenta el contexto de mercado libre (WildMAPsFiT, 2020).

Los principales cultivos de PAM en España corresponden a adormidera (*Pavaper somniferum*), azafrán (*Crocus sativus*), lúpulo (*Humulus lupulus*), lavandas y espliegos (*Lavandula x intermedia*), *L. angustifolia*, *L. latifolia*), anís (*Pimpinella anisum*), comino (*Cuminum cyminum*), aloe (*Aloe vera*), menta (*Mentha sp.*), manzanilla (*Matricaria chamomilla*), achicoria (*Cichorium intybus*), regaliz (*Glycyrrhiza glabra*), endrino (*Prunus spinosa*). Otros cultivos que ocupan pequeñas superficies son: melisa (*Melissa officinalis*), salvia (*Salvia officinalis*, *S. lavandulifolia*), tomillos (*Thymus sp.*), romero (*Rosmarinus officinalis*), estragón (*Artemisia dracunculus*), cilantro (*Coriandrum sativum*), hisopo (*Hyssopus officinalis*), orégano (*Origanum vulgare*, *O. virens*), mejorana (*Origanum majorana*), equinacea (*Echinacea purpurea*), caléndula (*Calendula officinalis*), hipérico (*Hypericum perforatum*), hierbaluisa (*Lippia citriodora*), ajedrea (*Satureja montana*), manzanilla de Mahón (*Santolina chamaecyparissus*), árnica (*Arnica montana*), etc. (Moré, 2009). Se estima que, en 2021, 13.301 ha españolas se dedicaron al cultivo de plantas aromáticas (por ejemplo, lavandín, lavanda, romero, etc.). Sin embargo, hay muchas otras especies que probablemente no estén incluidas dentro de esta categoría. Si se contara con los cultivos categorizados como especias (p.e., azafrán, anís, etc.) y el lúpulo, la cifra sería de 23.878 ha. Esto difiere bastante del área cultivada con fines comerciales existente en 2012, cuando se contaba con solo 10.656 ha, incluyendo lúpulo y especias. Esto supone un crecimiento de más del 124% en un periodo de 9 años (MAPA, 2022). En la figura 2 se puede ver qué regiones españolas cuentan con mayor superficie cultivada de PAMs. Éstas son: Andalucía (se cultivan principalmente especias), Castilla-La Mancha (lavanda, lavandín, salvia, tomillo y

azafrán), Región de Murcia (lavanda y salvia), Castilla y León (lavanda, lavandín y lúpulo), y la Comunidad Valenciana (varios cultivos) (MAPA, 2022; WildMAPsFIT, 2020).



**Figura 2.** Distribución por Comunidades Autónomas de la superficie de plantas aromáticas y medicinales total cultivada en España. Elaboración propia a partir de MAPA (2022).

Por lo general, los datos económicos confirman la tendencia al alza en la que se encuentra el mercado español de las PAMs. Por ejemplo, según cifras de la Asociación Nacional de Perfumería y Cosmética (STANPA) ([www.stanpa.com](http://www.stanpa.com)), el sector cosmético en España tiene un valor de mercado de 9.250 millones de euros, con un crecimiento del 11,3% en 2022. Además, nuestro país se encuentra en el top 10 exportador mundial de productos de belleza, y es el segundo en perfumes. En el 2022 se exportaron cerca de 7.000 t de aceites esenciales (Martínez, 2023), alcanzando el total de las exportaciones del sector un valor de 6.515 millones de euros. Otro ejemplo es el consumo de fármacos de origen natural, que aumentó un 28% debido a la pandemia del COVID-19, llegando a cifras extraordinarias en algunos segmentos como inmunoestimulantes (+288%) y plantas para el estrés y el insomnio (+30%) (García, 2020). Aunque estos datos pudieran ser circunstanciales, propiciados por una pandemia global, la tendencia alcista en el mercado de las PAMs era anterior a ésta. El informe sobre comercio exterior del año 2019 (MAPA, 2020), ya revelaba un aumento en las exportaciones del 22% en valor y del 38% en volumen con respecto al año anterior para la categoría “plantas, semillas y frutos utilizados en perfumería, medicamentos o insecticidas”, así como para la categoría “gomas, resinas y demás jugos y extractos vegetales”, que aumentaron un 18,0% en valor con respecto al año anterior, disminuyendo un 0,7% en volumen. Por su parte, el informe sobre comercio exterior del año 2022 (MAPA, 2023), recoge para esta categoría un valor de exportación de 98,06 millones de euros, un 8,73% más que en 2019. Todo ello con un volumen exportado de 19.724 t, un 16,63% menos que en 2019. Dentro de la categoría “gomas, resinas y demás jugos y extractos vegetales”, en 2022 se alcanzó un valor de exportación de 890,54 millones de euros y un volumen de 49.162 t exportadas. Un incremento sobre los datos del 2019 de un 95,71% y un 38,00% respectivamente. Para la categoría “café, té, mate y especias” hubo exportaciones por un valor de 806,37 millones de euros, un



18,8% más que el año anterior, y con un volumen de 195.695 t, un 11,0% más que el año anterior.

Por último, cabe destacar la labor de las asociaciones y cooperativas dedicadas al fomento de las plantas aromáticas, como es el caso de la Asociación Nacional Interprofesional de Plantas Aromáticas (ANIPAM), y conviene reconocer su participación en el crecimiento de este tipo de cultivos (Navarro, 2018). A nivel local, Palencia es también un ejemplo claro de esa expansión del cultivo de PAMs (especialmente el lavandín), íntimamente ligada a la creación de la Asociación Palentina de Plantas Aromáticas y Medicinales (APAPAM) en 2008 y posteriormente la Cooperativa Palentina de Aromáticas en 2014.

## 2.3. El cultivo de lavandín: debilidades y oportunidades

### 2.3.1. Descripción - Características morfológicas y fisiológicas

Las plantas aromáticas del género *Lavandula* son nativas de la región Mediterránea y están muy extendidas en todo el mundo. Este género pertenece a la familia Lamiaceae, que contiene 39 especies y cerca de 400 cultivares, incluyendo cultivos herbáceos o arbustivos anuales y perennes. Las principales especies del género *Lavandula* son: la lavanda (*Lavandula angustifolia* Mill.), el espliego (*Lavandula latifolia* L.) y el lavandín (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.), un híbrido estéril obtenido por el cruce de las dos especies anteriores (Caccialupi et al., 2022). Estas tres especies son arbustos de pequeño tamaño, herbáceos y perennes, con ciclos que pueden durar de 12 a 15 años. Los arbustos pueden alcanzar alturas entre 40 y 80 cm. Crecen bien de forma silvestre en terrenos escarpados, calcáreos, pedregosos y bien drenados, expuestos a la luz solar. Sus espigas, que se elevan sobre el follaje, tienen espirales de flores que varían en color desde lila, azul y violeta. El cáliz y la corola son tubulares, generalmente de cinco lóbulos. Se pueden utilizar varios criterios morfológicos para distinguir entre las tres especies. Para empezar, se puede observar una clara diferencia entre la lavanda y el lavandín en cuanto al tamaño y vigor de las plantas. Las hojas son mucho más grandes en el caso del lavandín. Los tallos de lavanda tienen una longitud que varía de 15 a 20 cm. Sus espigas tienen flores cortas y delgadas y tallos de inflorescencia con un solo grupo de flores. Los tallos de espliego y lavandín son más largos y superiores en número, y todas las espigas florales son bifurcadas, leñosas y glabras. El lavandín en concreto tiene tallos ramificados y gruesos, de 50 o más cm de altos, brácteas más o menos anchas, espigas largas e interrumpidas. Además de hojas lineales oblongas, más o menos estrechas y obtusas, alcanzando algunas una anchura de 1 cm. Para concluir, el lavandín se puede distinguir por ser un híbrido estéril, es decir, que no produce semillas (Gallotte et al., 2020).

Estas tres especies se encuentran entre las aromáticas más cultivadas en Europa. Además de su uso como ornamentales, se cultivan para la producción de aceites esenciales. Los aceites esenciales, o simplemente esencias, son aceites volátiles de diversa composición química, que derivan de materias vegetales, otorgándoles sus olores característicos (Usano-Aleman et al., 2011). Estos aceites son extraídos en la industria mediante destilación por arrastre de vapor o por hidrodestilación (Božović et al., 2017). En las plantas, el aceite esencial es producido por las células cónicas que recubren los pétalos y los sépalos, donde se encuentran los tricomas glandulares secretores del aceite. Los principales componentes de los aceites de la especie son monoterpenoides y sesquiterpenos, siendo estos últimos significativamente menos abundantes que los primeros. Más específicamente, la composición exacta del aceite esencial varía según la especie y el proceso de destilación. En el caso de *Lavandula*

*angustifolia*, los componentes principales son el linalool y el acetato de linalilo que le dan a esta especie su fragancia fina única (alta proporción de linalol sobre contenido de alcanfor). Por otro lado, el lavandín se caracteriza por niveles generalmente más altos de alcanfor y eucaliptol (1,8-cineol). Las variedades de *Lavandula x intermedia* presentan tanto los rendimientos más altos de flores como los mayores rendimientos de aceite esencial por ha (Gallotte et al., 2020). De esta forma, durante décadas, los aceites esenciales obtenidos a partir de estas PAMs se han empleado en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. En los últimos años, la investigación en plantas aromáticas se expandió hacia nuevas aplicaciones, como en el sector agroalimentario, donde se ha demostrado una gran efectividad de los aceites esenciales contra los patógenos y plagas transmitidas por los alimentos. En base a la necesidad de limitar o eliminar antibióticos, pesticidas y conservantes en la cadena alimentaria, es importante estudiar y aplicar nuevas estrategias y soluciones para la producción, conservación y transformación ecosostenible. Por esta razón, se han realizado grandes esfuerzos a nivel de investigación en la aplicación de los aceites esenciales como bioplaguicidas y bioconservantes de alimentos. Así, el mercado global de los aceites esenciales está destinado a crecer en los próximos años y su futura aplicación en las industrias agroalimentarias deberá tener en cuenta el origen de las especies vegetales y su composición química (Truzzi et al., 2021).

Como ya se ha comentado, el lavandín es un híbrido estéril procedente del cruzamiento de la lavanda y el espliego. Está admitido que su origen es silvestre en aquellas zonas en las que convive la lavanda con el espliego, normalmente por encima de los 600 m de altitud. A pesar de que la lavanda florece casi un mes antes que el espliego, en las ocasiones en las que coinciden en floración, los insectos, aprovechando el néctar de ambas, fecundan el espliego con el polen de la lavanda (García, 2014). Una primera plantación realizada en el año 1924 en la Provenza, a partir de plantas espontáneas, marcó su reconocimiento como nueva especie diferenciada (de Lope, 2007). Esta hibridación silvestre hace que la diversidad genética disponible en la naturaleza sea muy limitada. Por lo tanto, la mayoría, si no todos, de los clones cultivados tradicionalmente se obtuvieron a través hibridaciones controladas a partir del material natural original (Gallotte et al., 2020). De esta manera, el lavandín es una especie que muestra más vigor y producción que sus progenitores, así como un mayor contenido en aceites esenciales, siendo, por lo tanto, la especie más cultivada comercialmente de las tres. Es una especie de gran rusticidad, lo que le permite desarrollarse bien sobre suelos relativamente pobres en nutrientes. Prefiere terrenos sueltos, con buen drenaje (es poco tolerante al encharcamiento) y exposiciones soleadas. Respecto al pH, crece preferiblemente en zonas calcáreas, es decir, con unos valores de pH altos (alcalinos). Aun así, el lavandín puede llegar a desarrollarse en terrenos con elementos ácidos, aunque en menor medida. Tampoco requiere altos niveles de materia orgánica, puesto que, como ya hemos dicho, en su hábitat natural crece en terrenos pedregosos. Además, un exceso de fertilización puede llevar a una pérdida de potencia en el aroma. Resiste bien las heladas invernales, aguantando temperaturas por debajo de los -10 °C en su época de parada vegetativa. No obstante, es más sensible a las heladas tardías que se pueden dar en zonas frías (finales de abril-mayo), aunque su capacidad de rebrote le permite obtener producción incluso en estas circunstancias tan desfavorables. Soporta bien la sequía, pero para obtener rendimientos aceptables en secano se requieren unas precipitaciones anuales por encima de 400-450 mm, repartidos a lo largo del ciclo de cultivo (Herraiz et al., 2014; Innovacione-AgroFood Design, 2020).

### 2.3.2. Variedades comerciales de lavandín

Como ya se ha indicado anteriormente, las variedades de lavandín que se cultivan de forma comercial se obtienen mediante hibridaciones artificiales controladas. De esta forma tenemos actualmente los lavandines: Sumian, 31-70, 43-70, Certudes, Ordinario, Abrial, Grosso o Super, entre otros. Estas tres últimas variedades citadas son las que más se encuentran en el mercado (García, 2014), y, por lo tanto, se elaborará una breve descripción de cada una de ellas a continuación.

#### 2.3.2.1. Abrial

Desarrollada en 1926 por un lavandicultor de Lyon, de nombre Abrial. Con ella, se alcanzarían producciones de entre 170 y 200 kg de esencia por ha, frente a los 30 kg/ha en los que se encontraba la lavanda en el momento (de Lope, 2007). Actualmente es la variedad más extendida en Francia. Se trata de un clon exigente en suelo y humedad, que encuentra su altitud óptima entre los 400 y los 800 m. Da lugar a plantas de poco vigor, con matas de tamaño reducido. Aun así, sus ramas se desarrollan perfectamente en todas las direcciones, alcanzado las cepas entre 1,20 y 1,30 m de diámetro. Los tallos más largos alcanzan entre 40 y 50 cm de media, portando espigas con numerosas flores violetas ricas en esencia. Los rendimientos de éstas oscilan entre los 2,5 y 3 kg de esencia por cada 100 kg de flores (García, 2014).

#### 2.3.2.2. Super

A finales de los años cuarenta aparece la variedad Super, con una calidad de la esencia más fina y menos alcanforada que la del lavandín Abrial, al disponer de mayores cantidades de acetato de linalilo y menores de alcanfor. Sin embargo, el rendimiento en esencia es algo inferior al Abrial, aproximadamente entre 80 y 110 kg/ha, dependiendo de la altitud, clima y suelo. El lavandín Super es la variedad que más se cultiva en España, de mata más grande con inflorescencias de azul grisáceo. Aunque tiene menor rendimiento que la variedad Abrial, presenta mayor rusticidad que ésta, comportándose bien por encima de los 800 m hasta los 1.000, o incluso 1.200 m (de Lope, 2007; García, 2014; Herraiz et al., 2014).

#### 2.3.2.3. Grosso

El surgimiento de la variedad Super, impulsó que otro lavandicultor francés, Grosso, seleccionara a principio de los años sesenta un nuevo genotipo de lavandín al que también daría su nombre. Esta variedad sería mucho más resistente al medio, con mayores rendimientos en esencia que los anteriores, aunque de inferior calidad, pues sus características, y en concreto su olor, no son las mismas que las del Super. Así pues, el lavandín Grosso es una variedad muy vigorosa y homogénea, con una precocidad muy alta y sus flores son aún más azules que las del Abrial. Es tan rústica como el "Super" y se comporta bien a las mismas altitudes (de Lope, 2007; García, 2014; Herraiz et al., 2014).

#### 2.3.2.4. Producciones

Una vez vistas las características de las tres variedades, en la tabla 3 se pueden encontrar algunos valores de rendimientos en aceite esencial según variedad.

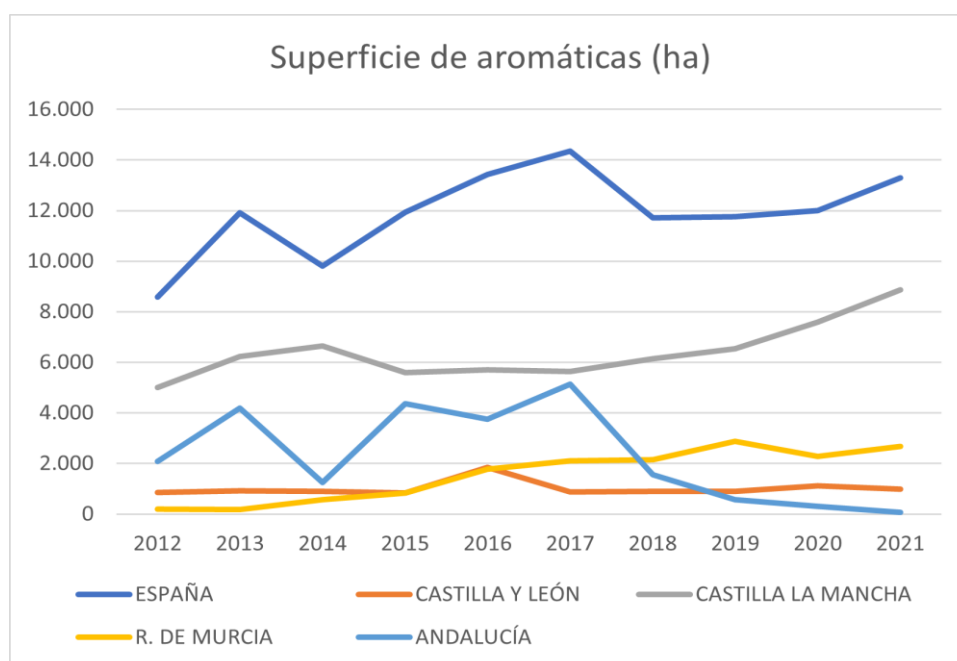
**Tabla 3.** Rendimientos medios y máximos en aceite esencial en kg/ha, en función de la variedad de lavandín. Adaptada de Moré (2008).

Variedad	Rendimiento en aceite esencial (kg/ha)	
	Valor medio	Valor máximo
Abrial	80 - 120	200
Grosso	100	240
Super	60 - 70	80 - 90

### 2.3.3. Evolución del cultivo de lavandín en España

El espliego es una planta muy común, que crece de forma silvestre en España. Este hecho parecía indicar, que nuestro país sería un lugar idóneo para el cultivo del lavandín. Por este motivo, a principio de los años treinta se experimentó la lavanda y el lavandín común (sin selección de plantas) en Mariana (Cuenca). Sin embargo, el aceite esencial obtenido resultó muy diferente al producido en Francia, por lo que no tuvo éxito comercial, a pesar de ser de una calidad excelente. No fue hasta los años setenta cuando el lavandín se volvió a desarrollar en España. Esto se debió, por una parte, a la buena adaptación de las variedades francesas, y en especial la Super, a nuestras condiciones edafoclimáticas. Por otra parte, a esta expansión del lavandín contribuyeron la construcción de varias destilerías y a la importación de máquinas cosechadoras, lo que provocó que se asegurara la calidad del producto y se redujeran los costes de producción. Sin embargo, la inestabilidad en el precio de la esencia y la falta de unión en el sector por parte de los productores hizo que en años posteriores la demanda fuera disminuyendo, lo cual trajo una reducción continuada de los precios y, en consecuencia, la caída de los beneficios. Estos bajos beneficios, unidos a la inexistencia de ayudas a estos cultivos dentro de la PAC, la falta de mecanización, los bajos rendimientos, y los altos costes de producción con respecto a Francia, fueron las causas que provocaron que los agricultores sustituyeran gran parte de las extensiones cultivadas de lavandín, por otros cultivos que sí tenían ayudas (de Lope, 2007). En la actualidad, la totalidad del lavandín cultivado en España procede de variedades francesas, bien sea obteniendo los plantones directamente desde viveros en Francia, o a partir de viveristas locales, que reproducen el material vegetal del que ya disponen. En cualquiera de los casos la variedad más utilizada, como ya se ha comentado, sigue siendo la Super, aunque está aumentando la superficie de Grosso. También se emplea la Abrial, pero ya en notable retroceso (García, 2014). Las nuevas técnicas en la producción, recolección y destilación aparecidas en Francia en los últimos años e introducidas en la región por parte de los lavandicultores, han determinado que el cultivo de lavandines, lavandas y espliego sea más rentable que el de los cereales incluso sin ayudas PAC, duplicándolos y en algunos casos triplicándolos (de Lope, 2007). En la figura 3 se puede ver la evolución que ha experimentado la superficie de aromáticas (principalmente lavanda y lavandín, sin incluir condimentos ni lúpulo) dentro del territorio español en la última década. España, aunque con altibajos, ha incrementado su superficie desde las 8.578 ha en 2012 hasta las 13.301 ha de 2021. Destaca la expansión del cultivo de aromáticas en la comunidad de Castilla-La Mancha, que actualmente supone el 67% del total nacional, siendo ésta la principal causante del incremento del estado (MAPA, 2022). En la figura 3 se puede ver como alrededor del año 2017 encontramos un punto de inflexión

donde la superficie cultivada de lavanda y lavandín crece notablemente en Castilla-La Mancha. Una de las razones de este incremento puede radicar en la aparición en 2017 de una ayuda agroambiental de la PAC para aromáticas plurianuales en dicha comunidad (Gobierno de Castilla-La Mancha, 2022). También a partir de 2017 el cultivo de lavanda y lavandín se reduce drásticamente en Andalucía, comunidad que pasa de ser la segunda productora en importancia en 2017 a casi desaparecer en la actualidad, cediendo esa superficie en favor otras PAMs como el anís y el cilantro (Martínez, 2018). En nuestra comunidad, Castilla y León, la evolución fue al alza, aunque muy tímidamente, con 992 ha cultivadas en 2021. Por último, cabe destacar el bloqueo en que se encuentra la demanda de aceite esencial de lavandín desde la pandemia del COVID-19, aunque es previsible que esta situación se revierta una vez se agote el stock almacenado.



**Figura 3.** Evolución de la superficie cultivada (ha) de plantas aromáticas (principalmente lavanda y lavandín) en España y en las principales comunidades para el periodo 2012-2021. Elaboración propia a partir de MAPA (2022).

### 2.3.4. Técnicas de cultivo

El sistema de cultivo del lavandín más común es el seco. Como ya se apuntó anteriormente, es una especie que se adapta perfectamente a los secanos áridos. Si bien es cierto, que, si se desea obtener los mayores rendimientos se debería implantar un sistema de riego. En ocasiones, el cultivo se riega únicamente durante los estados iniciales del mismo (del primer al segundo ciclo), suprimiendo los riegos cuando éste se ha implementado correctamente. Para el objeto del presente Trabajo de Fin de Máster, son de mayor interés las técnicas de cultivo para el lavandín de seco. A continuación, se procederá a detallar algunas de las operaciones básicas que este cultivo requiere según las describe de Lope (2007).

Previo a plantar y a preparar el suelo, es aconsejable hacer un análisis de suelo para conocer condiciones iniciales de los campos y las necesidades de fertilización o enmiendas (Roser et al., 2006). La preparación del suelo debe hacerse preferentemente

en otoño, pues la preparación de primavera es más delicada debido a las condiciones meteorológicas, a veces desfavorables, y a la dificultad de preparar un suelo finamente desmenuzado y no compactado (Muñoz, 1993). Al tener el lavandín un sistema radicular compuesto por una raíz principal pivotante y raíces secundarias muy superficiales, es necesario preparar el terreno de forma adecuada para que la raíz principal pueda profundizar rápidamente, y de esta manera aprovechar el agua existente en las capas más profundas del terreno. Para ello, se recomienda una labor profunda, de entre 40 y 60 cm, con subsolador, seguida de dos pases de cultivador con el fin de mullir y nivelar el terreno.

A la preparación del terreno le sigue la plantación. La época óptima para realizar la plantación es en cualquier momento de la parada vegetativa, siendo preferible el invierno. Las plantas se dispondrán en hileras, con una separación de entre 1,60 y 1,80 m unas de otras, y dentro de la hilera, la distancia entre plantas será de entre 30 y 70 cm, dependiendo de la fertilidad y profundidad del terreno. Esto supone una densidad media de entre 8.000 y 12.500 plantas/ha y un coste por plantación en torno a los 2.000 o 2.500 €/ha. La operación se suele hacer a raíz desnuda, es decir sin sustrato, y se le pasa un rulo para facilitar su posterior enraizamiento (Innovatione-AgroFood Design, 2020; Muñoz, 1993). Como se puede ver en la figura 4, la plantación se lleva a cabo con ayuda de una plantadora mecánica portada por un tractor. En ella, van montados tres operarios encargados de poner los plantones en la reja plantadora de la máquina, para que ésta pueda colocar el plantón en el terreno. Detrás de la reja plantadora van unos discos que ponen la tierra circundante en contacto con la planta.



**Figura 4.** Plantación del lavandín. Fotografía cedida por Palentina de Aromáticas.

Una vez el cultivo se ha implantado, se hace necesario el control de las malas hierbas, fundamentalmente con el objetivo de evitar competencias con el lavandín, sobre todo en su primer año de desarrollo. También de cara a la recolección, conviene que el terreno esté limpio de malas hierbas para evitar que éstas sean recogidas por la segadora y acaben mermando la calidad del producto cosechado. Para ello se podrán efectuar tres escardas poco profundas, de unos 10 cm. Una de ellas se realizaría en otoño y las otras dos a lo largo de la primavera, dependiendo de la climatología. Durante estas escardas no es conveniente arrimar mucho al tronco de las plantas con el fin de

no dañarlas. En los cultivos convencionales (no ecológicos), existe la opción de sustituir las labores culturales por tratamientos con herbicidas, o combinar ambas estrategias. El herbicida más empleado es el glifosato, que controla todo tipo de adventicias. La aplicación de este herbicida debe de llevarse a cabo en los meses de enero o febrero, cuando la planta está en reposo vegetativo, para evitar daños. Para combatir las malas hierbas dentro de las líneas de cultivo, se puede utilizar algún tipo de acolchado sobre la línea de cultivo, siempre procurando que éste no dificulte el desarrollo de la planta o de la recolección. Para superficies grandes de cultivo se puede utilizar acolchado de plástico. El desarrollo en los últimos años de los denominados plásticos biodegradables, a partir de fibras (de algodón, coco, etc.), o a partir de celulosa y almidón, abre un nuevo horizonte frente a los plásticos de polietileno (Roser et al., 2006). Frente a estas técnicas convencionales de gestión del suelo y las malas hierbas, se están extendiendo otro tipo de prácticas procedentes de la agricultura biodinámica y regenerativa como las cubiertas vegetales vivas. Las cubiertas vegetales se han estudiado ampliamente en los cultivos leñosos y hortícolas. Distintos autores como Saavedra (2017) o Koudahe et al. (2022), por citar algunos, coinciden en los beneficios de los sistemas de cubiertas vegetales vivas, como pueden ser, entre otros: la prevención de la erosión del suelo, su mejora estructural, y, por consiguiente, su aumento de la capacidad de infiltración y de retención del agua. Para un cultivo de secano como el que aquí planteamos, la conservación de la humedad es fundamental. Sin embargo, por sus características, este tipo de técnicas no se encuentran totalmente desarrolladas para el cultivo de aromáticas, a diferencia de para otros leñosos, y por lo tanto, no son muy utilizadas.

Como para cualquier cultivo, es necesario abonar el lavandín si se quiere obtener de él una buena producción en aceites esenciales. Esta fertilización se debe realizar según las necesidades de la planta y las carencias del terreno, a partir del 3º o 4º año de vida de la planta. Será un proceso constante, y como dato de referencia, tradicionalmente se aplican 150 kg/ha de un complejo triple 15 (NPK) mezclado con otros 150 kg aproximadamente de nitrato amónico cálcico (NAC) del 27%. Por su parte, Moré (2008) aconseja aplicar 45 unidades fertilizantes (UF) por ha de nitrógeno, 30 UF/ha de fósforo y 70 UF/ha de potasio en zonas áridas. La aplicación se debe realizar a finales del invierno con el fin de aprovechar las lluvias de primavera.

El proceso de recolección se realiza en su totalidad de forma mecanizada, utilizando una máquina específica para lavandas y lavandín, aunque también sirve para otro tipo de PAMs. Como se puede ver en la figura 5, este equipo de recolección se compone de una segadora portada por un tractor, que corta la planta y la conduce a un cuello de cisne acoplado a la segadora, con una sopladora que carga automáticamente el producto segado a un remoque que el tractor arrastra. La operación de siega consiste en separar de la base leñosa de la planta la materia productora (tallos de los que brotan las espigas florales). La recolección se realiza una vez al año, a partir del segundo año de vida de la planta. La época óptima para recolectar el lavandín es al término de su floración, esto puede variar dependiendo de la variedad cultivada, el clima y la altitud, aunque se puede decir de forma general que será en el mes de agosto.



**Figura 5.** Recolección del lavandín (Obtenido de Roser et al., 2006).

La destilación se efectúa mediante arrastre de vapor en un contenedor especial, por el que se hace pasar una corriente de vapor de agua que volatiliza y arrastra las moléculas aromáticas de la planta. Al circular dicha corriente de vapor por el serpentín donde se refrigera, tiene lugar la condensación. Esto permite que el esenciero o vaso florentino, previa decantación por diferencia de densidades, separe el agua del aceite.

El rendimiento de cosecha varía mucho en función del año de cultivo y la variedad. La máxima producción y máximo rendimiento se suele dar en torno al 4º - 5º año de edad de la planta. Por lo general, en materia vegetal fresca, se puede decir que los rendimientos oscilan entre los 2.000 kg/ha los primeros años de cultivo y los 6.000 kg/ha cuando está en plena producción. El rendimiento de aceite se mantiene estable o aumenta ligeramente hasta el quinto año para después disminuir. (Moré, 2008). El rendimiento del aceite esencial de lavandín suele encontrarse en torno al 3,5% (de Lope, 2007). Los rendimientos por ha en esencia de las principales variedades de lavandín cultivadas, ya se expusieron en la tabla 3.

### **2.3.5. Oportunidades del cultivo de lavandín**

A lo largo del presente documento se han ido apuntando las características del cultivo de aromáticas en general, y de la planta de lavandín en particular. Algunas de sus características suponen ventajas y oportunidades claras que este cultivo brinda frente a otros. Estas ventajas son precisamente los motivos por los que se ha optado por el lavandín para su estudio en esta ocasión. Por lo tanto, en este apartado se pretende efectuar una breve recopilación de algunas de estas ventajas.

En primer lugar, el lavandín es un cultivo rústico, bien adaptado a los secanos áridos de nuestro entorno. Se trata de un híbrido entre la lavanda y el espliego, y este último es autóctono de la Península Ibérica, desarrollándose sin problemas de forma silvestre en suelos pedregosos y pobres de nuestro territorio. El lavandín, por tanto, necesita de pocos cuidados o labores, y los requeridos se efectúan todos mecánicamente, por lo que los gastos en insumos (mano de obra, fertilizantes, pesticidas y herbicidas) son muy bajos comparados con el cereal. Por otra parte, el



mercado internacional de PAMs ha experimentado en el presente siglo un aumento significativo, debido a la creciente demanda de productos de origen natural de alta calidad, todo ello a pesar del reciente problema coyuntural de la caída de precios al que nos referiremos en el siguiente apartado. Ante el aumento de la superficie dedicada al cultivo de aromáticas en nuestro país, se crearon asociaciones y cooperativas que sirven de apoyo fundamental para todo el interesado en el cultivo del lavandín, y de esta forma fomentar su desarrollo. Algunos ejemplos de estas instituciones son la Asociación Nacional Interprofesional de Plantas Aromáticas, o la Asociación Palentina de Plantas Aromáticas y Medicinales, y la Cooperativa Palentina de Aromáticas, a nivel provincial. Por lo tanto, el lavandín es una alternativa que aporta al agricultor una rentabilidad superior a los cultivos tradicionales del sistema cerealista de secano, o sea, los cultivos COP (cereales, oleaginosas y proteaginosas), especialmente en los secanos más áridos de Castilla y León, y de España en general (Argyropoulos, 2019; de Lope, 2007; García, 2014; Herraiz et al., 2014; Navarro, 2018; Truzzi et al., 2021).

Pero el cultivo del lavandín no solo aporta beneficios económicos, sino que también proporciona beneficios medioambientales. Esto se debe a que las plantas de lavandín son mejorantes de la biodiversidad; tanto de la superficie terrestre, al servir de refugio y alimento para animales; como del suelo donde se sustenta, al proteger su superficie, previene su erosión y su pérdida de materia orgánica, favoreciendo así la vida microbiana subterránea en torno a sus raíces. Además, la plantación de lavandín o de cualquier otra PAM es una herramienta más para la estrategia de diversificación de cultivos. Esta práctica agronómica está reconocida como un arma clave en la lucha contra el cambio climático y así está recogido en las principales políticas en la materia, como pueden ser la PAC, el Pacto Verde Europeo, o la Agenda 2030 (Aalmo et al., 2022; Alarcón et al., 2022a, 2022b; Claire et al., 2019; Wesseler, 2022).

### **2.3.6. Debilidades del cultivo de lavandín**

A pesar de todo lo indicado en el apartado anterior, el lavandín conlleva ciertas dificultades o riesgos que el agricultor necesita conocer antes de decantarse por su cultivo. Según ANIPAM, la situación actual del sector de la producción y destilación de lavanda y lavandín dista de ser la ideal. Esto es debido principalmente a tres causas: en primer lugar, las sequías de los últimos años han supuesto una merma considerable en las producciones, todo esto a pesar del carácter rústico de este cultivo; por otra parte, existe el problema de que la Unión Europea todavía no contempla en su regulación los productos derivados del lavandín como naturales; por último, es preocupante el hecho de que desde hace tres años los precios de los aceites esenciales puros y naturales han descendido radicalmente (Rojo, 2023).

Como ya se indicó en el apartado 2.2.1. La crisis climática, el problema del cambio climático supone un grave riesgo para las producciones agrícolas, no solo debido al aumento de las temperaturas y el aumento de la probabilidad de fenómenos meteorológicos extremos; sino que también porque estos cambios implican un incremento de las plagas y las enfermedades (Skendžić et al., 2021). Además, la globalización supone un aumento masivo del movimiento de personas y material biológico entre países y continentes, lo que ya está originando un crecimiento exponencial de la incidencia de plagas y enfermedades exóticas (Ristaino et al., 2021). Por todo esto, aunque hoy en día en nuestro país no existan graves problemas fitosanitarios para el lavandín, hay que estar preparados ante su posible aparición en un futuro.

En este sentido, Moré (2008) señala algunas plagas y enfermedades a tener en cuenta para el cultivo de lavandín:

#### Enfermedades provocadas por virus

- El principal virus que afecta al género *Lavandula*, incluidos los lavandines, es el virus del mosaico de la alfalfa, que provoca el atrofiado y mosaico amarillo en hojas y tallos.

#### Enfermedades provocadas por hongos

- Podredumbres de raíz: (*Armillaria mellea*, *Septoria lavandulae*, *Phoma lavandulae*). Para evitar que aparezcan y se propaguen por la parcela, hay que asegurar un buen drenaje del terreno y evitar que se encharque, y eliminar y quemar todas las plantas que estén infestadas.

#### Plagas

- Larva del cecidómido (*Thomasiniana lavandulae*). Este díptero provoca la necrosis, desecamiento y muerte de los brotes. Se esconden en la corteza de los brotes de las plantas, cosa que hace muy difícil su control. La forma más eficaz de controlar esta plaga es luchar contra los adultos, que son un tipo de mosca muy pequeña (unos 2 mm) que salen de tierra a principios de primavera. El adulto no causa daños en las plantas.
- Larva de *Sophronia humerella*, lepidóptero que se come los brotes jóvenes en primavera.
- Orugas de mariposas nocturnas, que se comen tanto hojas como flores.
- Un escarabajo (*Meligethes subfunatus*), que se come los órganos reproductores de las flores y puede destruir totalmente las espigas floridas.
- Pulgones, langostas, cochinillas, etc.

De la misma forma, y si nos fijamos en los países de nuestro entorno, según Gallotte et al. (2020), en Francia el mayor problema fitosanitario de la lavanda y el lavandín es el Fitoplasma del Stolbur. Esta enfermedad, que ya es bastante conocida en otras especies tanto hortícolas como leñosas, ataca en mayor medida a la lavanda que al lavandín. La causa de la enfermedad es una pequeña bacteria sin pared celular de la clase Mollicutes. A este grupo de bacterias se les llama comúnmente micoplasmas. Estas bacterias se transmiten por unas chicharras de la familia Cixidae, siendo el vector principal *Hyaletthes obsoletus*, que transporta el micoplasma. Los primeros síntomas suelen confundirse con otras enfermedades, carencias de nutrientes o el mal uso de productos fitosanitarios. Los primeros síntomas visibles son el amarillamiento de las partes aéreas y el curvado de las hojas que eventualmente se vuelven quebradizas. Estos síntomas se explican por la obstrucción de los vasos del tejido del floema, conduciendo esto a menudo a la muerte de toda la planta. Entre 2005 y 2010, el Fitoplasma del Stolbur destruyó el 50% de la cosecha de lavanda francesa, reduciéndola a entre 25 y 30 toneladas en 2011. La mejor prevención, es eliminar las plantas de reservorio alrededor de las parcelas. La transmisión por injerto o multiplicación de material vegetal infectado también es una vía de diseminación de la enfermedad (INRAE, 2021).

Mención aparte merece el principal problema del cultivo del lavandín actualmente: el de su plantación e implantación en el terreno. La inversión inicial es alta, en torno a

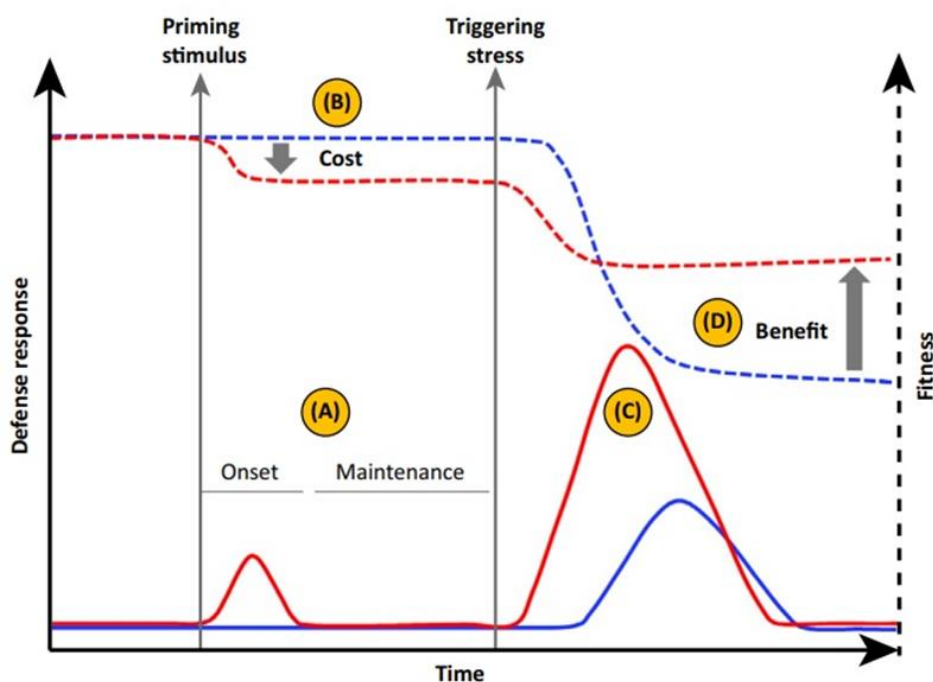
los 2.000 o 2.500 €/ha, (plantones de calidad, adaptación de maquinaria, manejo de adventicias, etc.) (García, 2014; Navarro, 2018). Actualmente los plantones de lavandín se adquieren a raíz desnuda, y se encargan a viveristas con experiencia en la multiplicación de aromáticas. Sin embargo, la producción de plantones a raíz desnuda es muy delicada, sobre todo, en el momento de retirar la planta del sustrato inicial. Esta operación se debe efectuar a savia parada para evitar daños de importancia al sistema radicular. Esto provoca que los viveristas no cuenten con plantones de lavandín a principios de otoño (finales de octubre o principios de noviembre), que es, la fecha de plantación óptima. En este momento, el suelo se encuentra en las mejores condiciones, e incluso puede producirse el arraigo de la planta antes de su entrada en dormición. Este retraso en la recepción del material vegetal por parte de los lavandicultores implica que se tengan que retrasar las operaciones de plantación, y en buen número de ocasiones, las lluvias otoñales provocan que estas operaciones se tengan que suspender hasta la primavera. El tiempo que transcurre desde la recepción de la planta en invierno y su plantación en primavera conlleva un inevitable deterioro, y, por lo tanto, una mayor probabilidad de fracaso en su implantación y arraigo en el terreno. Además, si se dan las condiciones de una primavera seca las posibilidades de fracaso aumentan. Todo esto tiene como consecuencia un elevado número de marras el primer año, lo que supone un elevado coste de reposición de estas plantas fallidas al año siguiente. Como la plantación de lavandín dura de 10 a 12 años, el hecho de adelantar la producción lo máximo posible es de vital importancia, y, por consiguiente, la viabilidad económica de la explotación depende de reducir al máximo posible el porcentaje de marras.

#### 2.4. Técnicas de estimulación – PRIMING

Como ya se ha visto en el apartado anterior, el cambio climático supone y supondrá en el futuro un riesgo para la supervivencia de los cultivos. Los mecanismos morfológicos, biológicos y bioquímicos de las plantas se verán gravemente afectados por estreses tanto bióticos como abióticos. Con el objetivo de dotar a las plantas de mecanismos de resistencia contra dichos estreses se han explorado distintas estrategias. Por una parte, se están adoptando nuevos métodos de cultivo, con la implementación de distintos enfoques agronómicos fuera del sistema convencional. Estas técnicas unidas a la selección genética clásica se han mostrado eficaces en el desarrollo de cultivos más productivos o mejor adaptados a distintos patógenos, a la sequía o los fenómenos climáticos extremos. Sin embargo, para comprender las respuestas morfológicas, biológicas y bioquímicas de las plantas ante el estrés, urge explorar la base genética que subyace a estos mecanismos. De esta forma, los estudios de asociación del genoma completo y la selección genómica con individuos de alto valor genético son claves para identificar los diferentes genes que intervienen en las respuestas anteriormente mencionadas. Una vez identificados estos genes, se puede recurrir a distintas técnicas modificación génica con el objetivo de asegurar plantas resistentes a los efectos del cambio climático (Raza et al., 2019). No obstante, estas estrategias de investigación y mejora genética conllevan una gran inversión económica, y se deben plantear a largo plazo.

Otra estrategia de adaptación de los cultivos puede ser la estimulación o priming. El priming se define como la exposición previa de las plantas a un factor estresante con el objetivo de desencadenar la llamada "memoria de estrés" del cultivo, lo que permite que las plantas estén mejor preparadas y tengan una mejor respuesta ante posibles eventos de estrés posteriores. Este descubrimiento de que las plantas tienen "memoria cognitiva" abrió nuevas oportunidades para los investigadores, y ha supuesto una línea de investigación muy prolífica. De esta manera, los avances en la comprensión de la

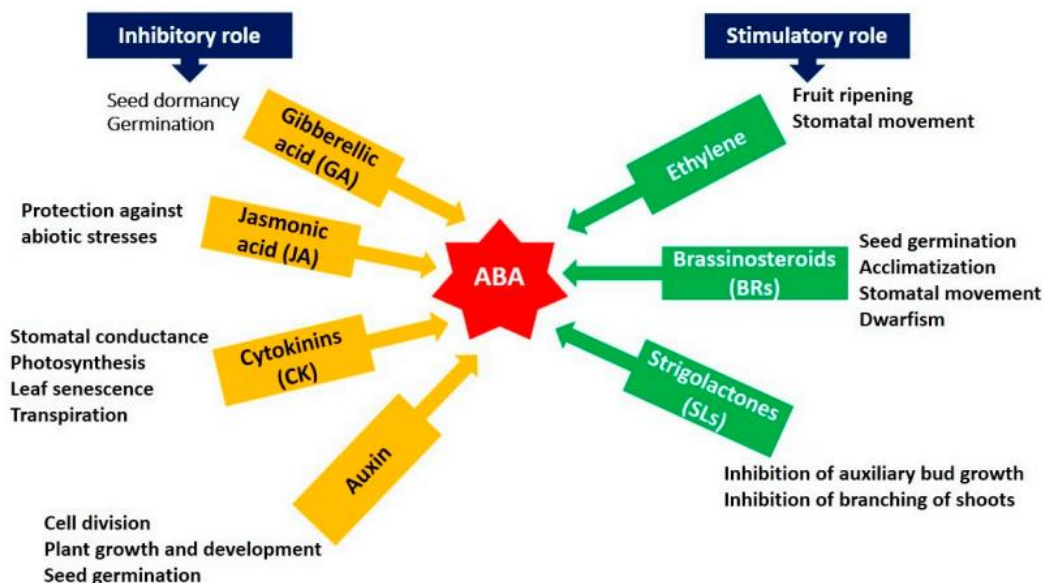
regulación genética y epigenética de la memoria del estrés de las plantas han proporcionado nuevos conocimientos y estrategias para mejorar la resiliencia y tolerancia de los cultivos ante distintos tipos de amenazas. Esta memoria de estrés se basa en modificaciones epigenéticas efectuadas en las plantas después de la primera aparición del estrés. De esta forma, el priming introduce cambios en la respuesta de hormonas, metabolitos, señales de azúcar, o especies reactivas de oxígeno, entre otros marcadores; que son los que generan la respuesta específica de la planta. Además, estudios recientes muestran que el priming puede inducir una memoria de estrés a corto o largo plazo. Es decir, en algunos casos, es posible que el efecto estimulante no se limite a generar un efecto sobre la planta estimulada, sino también sobre su progenie de forma vertical a través de las semillas, o incluso de forma horizontal a nuevos individuos clonales a través de propagación vegetativa. Cuando la variación epigenética se mantiene a través de varias generaciones, es posible que tenga lugar la asimilación genética, y, en consecuencia, el priming probablemente permitirá fenotipos de memoria de estrés fijo a más largo plazo. Por lo tanto, se puede decir que el priming es una medida defensiva adaptativa compleja, pero eficaz y de bajo coste. De modo que, como se puede apreciar en la figura 6, ante una primera exposición de la planta al estímulo (A), las defensas se activarán levemente (línea roja sólida), generando un coste (B) en la salud de la planta (línea roja punteada). Más tarde, ante el estrés superior (C), las respuestas de defensa se despliegan de una manera más rápida, más fuerte y sostenida en el tiempo, lo que genera un beneficio (D) en la salud (línea azul punteada) de la planta estimulada frente a la no estimulada (línea azul punteada) (Liu et al., 2022; Wang et al., 2017; Quan et al., 2021; Ramírez-Carrasco et al., 2017; Martínez-Medina et al., 2016).



**Figura 6.** Diagrama de la relación entre las respuestas de defensa (líneas sólidas) y la salud (líneas punteadas) en plantas estimuladas (rojas) contra las no preparadas (azules) (Obtenido de Martínez-Medina et al., 2016).

### 2.4.1. Papel de las hormonas en el priming

Las fitohormonas juegan un papel vital en la respuesta al estrés al modular diferentes mecanismos de transducción de señales. Las hormonas más importantes a este respecto son: el ácido salicílico (SA), el ácido abscísico (ABA) y el etileno (Kurepin et al., 2017). El papel principal lo desempeña el ABA, regulando las respuestas al estrés mediante las interacciones con algunas otras hormonas, como se muestra en la figura 7. El esquema muestra como en la función inhibidora, el ABA regula la acción del ácido giberélico, el ácido jasmónico y las auxinas. Asimismo, por la parte estimuladora, influye en la acción del etileno, la estrigolactona y los brasinoesteroides. El ABA también es la hormona más importante para la respuesta ante el estrés climático, pues juega un papel determinante en las distintas etapas del desarrollo de las plantas, particularmente en la apertura y el cierre de los estomas, el estrés por sequía, la germinación de las semillas y la latencia. De esta forma, en condiciones de sequía, el crecimiento de la planta se retrasa severamente y aumenta la concentración de ABA en las células. La acumulación de ABA controla la transpiración e inhibe la apertura estomática (Dong et al., 2018; Kuromori et al., 2018). El SA, por su parte, también regula numerosos procesos fisiológicos en plantas bajo condiciones climáticas de estrés. Por ejemplo, se identificó que el ácido acetilsalicílico puede fomentar el desarrollo de grupos de protoplastos en el maíz, controlando la regulación del ciclo celular (Carswell et al., 1989). Estudios recientes sobre el SA describieron sus impactos en la productividad de la fruta, la nodulación de las leguminosas, la resistencia a la temperatura, el cierre de estomas, la respiración, y los genes relacionados con la senescencia y el crecimiento celular (Malamy et al., 1990). Las regulaciones del ácido salicílico en estos eventos podrían ser secundarias porque controlan la producción de más hormonas de respuesta al estrés de la planta (Arnao y Hernández-Ruiz, 2018; Verma et al., 2016). Otro de los miembros más importantes de las fitohormonas es el etileno. Se encuentra en forma gaseosa y por lo tanto permite conexiones de planta a planta. El etileno tiene su función en el control de la germinación, maduración, crecimiento de las hojas y senescencia de las semillas bajo diferentes estreses climáticos abióticos y bióticos. El etileno actúa como vía de señalización entre el crecimiento de las plantas y las variaciones climáticas. El estrés abiótico como la salinidad, el encharcamiento, las altas temperaturas, las heladas, el contacto con metales pesados, la deficiencia de nutrientes y la sequía son los aspectos que modulan la síntesis de etileno (Dubois et al., 2018; Klay et al., 2018; Raza et al., 2019)



**Figura 7.** Relación del ácido abscísico (ABA) con el resto de fitohormonas ante el estrés (Tomado de Raza et al., 2019).

## 2.4.2. Tipos de priming

### 2.4.2.1. Priming por temperaturas extremas

Como ya se ha indicado, el estrés de las plantas puede tener distintos orígenes. Por este motivo existen distintos y variados tipos de priming. Entre ellos se encuentran los estímulos para resistir temperaturas extremas (tanto altas como bajas). El estrés por calor interfiere en muchos procesos fisiológicos críticos de las plantas como la fotosíntesis, la estabilidad de la membrana celular y la síntesis de las proteínas. La tolerancia a este tipo de estrés depende de la capacidad de las plantas para percibir el estímulo, la transducción de señales, el ajuste fisiológico y bioquímico (Hasanuzzaman et al., 2013). En este sentido, se ha confirmado que el priming con calor podría mejorar efectivamente la tolerancia térmica al estrés por calor recurrente posterior en varias especies de plantas. Por ejemplo, estudios en plantas de trigo han mostrado que las plantas estimuladas mostraron una mayor capacidad fotosintética que las no estimuladas, así como una mayor acumulación de almidón en grano al mejorar la movilización de las reservas desde los órganos vegetativos al grano (Wang et al., 2012). Del mismo modo, se ha demostrado que la estimulación por frío puede mejorar de manera eficiente la tolerancia de las plantas al estrés por bajas temperaturas. Los estudios muestran cómo, a consecuencia del priming, se acumulan en la pared celular de las plantas ciertos metabolitos como la sacarosa o la prolina, contribuyendo así a la estabilización de la pared, y evitando los daños en la membrana celular a causa del estrés por frío (Iba, 2002; Wang et al., 2017).

### 2.4.2.2. Priming por sequía

No obstante, el tipo de priming más estudiado por los científicos es aquel destinado a combatir el estrés por sequía, ya que es una de las amenazas más preocupantes derivadas del cambio climático. El estrés por sequía generalmente se puede describir como los efectos que tiene sobre las plantas el tiempo prolongado de privación de humedad natural. Generalmente, las plantas están expuestas al estrés por sequía cuando la transferencia de agua a las raíces es inadecuada, o la pérdida de humedad

por transpiración es extremadamente alta. Las plantas responden a estos estímulos estresantes a través de distintos mecanismos, ya sean éstos morfológicos, fisiológicos, bioquímicos o moleculares, pudiendo variar entre especies. En las plantas con estrés por sequía, se cierran los estomas, lo que inhibe la fotosíntesis y la asimilación de carbono, provocando esto a su vez un crecimiento deficiente de las plantas, un desarrollo reproductivo impedido y un rendimiento reducido. (Liu et al., 2022; Raza et al., 2023). Algunos estudios han demostrado cómo el priming ha mejorado la respuesta ante la sequía en plantas sensibles. Además, la estimulación indujo la expresión de los genes relacionados con la tolerancia a la sequía, resultando en plantas más fuertes y sanas, así como más capaces de soportar largos periodos de privación de agua (Saha et al., 2022).

#### 2.4.2.3. Priming por microorganismos

También se puede estimular las plantas ante estreses de tipo biótico y abiótico mediante microorganismos. No se debe perder de vista que la planta forma con su entorno un sistema complejo, en el que ésta convive con distintos tipos de microorganismos. Se sabe que la rizosfera sirve como epicentro de las interacciones de la planta con estos microbios a través de intercambios infoquímicos, moléculas de señalización y mecanismos biológicos. Como tal, la rizosfera presenta un entorno dinámico, autosustentable y heterogéneo en el que puede coexistir una comunidad diversa de microorganismos. Los tipos de microbios que generalmente se encuentran en la rizosfera incluyen bacterias, nemátodos, hongos y protozoos, siendo las bacterias las más abundantes (Ramjegathesh et al., 2013). Por lo tanto, este espacio proporciona un nicho para el intercambio mutuamente beneficioso (entre la planta, el suelo y microbiota) de compuestos bioquímicos conocidos como rizodepósitos. Estos compuestos incluyen proteínas, lípidos, carbohidratos, fitohormonas y otros metabolitos primarios y secundarios (Mashabela et al., 2022). Se sabe de la capacidad del priming mediante microorganismos de generar una protección excepcional a un bajo costo fisiológico en la planta. La literatura recoge los beneficios de la utilización de bacterias y hongos endófitos, hongos micorrícicos o distintos patógenos para activar los mecanismos de defensa en respuesta de las plantas ante un futuro ataque de patógenos o diferentes estreses de tipo abiótico. Por otra parte, está ampliamente estudiado el efecto que tienen microorganismos como las micorrizas, por ejemplo, no solo en la estimulación de la defensa frente a el estrés, sino que también como elementos favorecedores del crecimiento y desarrollo de la planta (Bhar et al., 2022). A este tipo de microorganismos los conocemos como bioestimulantes. También existen trabajos que han estudiado la combinación de distintos microorganismos en el tratamiento de cultivos, y han demostrado que la co-inoculación en la rizosfera de dos o más microorganismos benéficos es más efectiva para estimular el crecimiento vegetal debido al efecto sinérgico. En esta línea se está trabajando actualmente en el desarrollo de este tipo de biofertilizantes de segunda generación (Valero-Valero et al., 2021). De la misma manera, las interacciones tripartitas entre plantas, bioestimulantes y patógenos han indicado tendencias que afectan las vías metabólicas y la señalización de las plantas. De esta forma, se ha reportado que los bioestimulantes restauran el metaboloma y las perturbaciones metabólicas en la planta como una forma de promoción de su crecimiento y protección contra elementos de estrés, restaurando y preservando así los procesos fisiológicos la planta, como la fotosíntesis. (Lokhandwala y Hoeksema, 2019; Oukala et al., 2021).

### 3. OBJETIVOS

La motivación principal del presente Trabajo de Fin de Máster es investigar en la mejora vegetal del lavandín para la obtención de planta con una mayor resistencia y resiliencia a los periodos de sequías y altas temperaturas. Lo cual, le permitiría una mejor respuesta frente al cambio climático, posicionando a este cultivo como una alternativa viable al tradicional cultivo de cereal en zonas de secanos áridos.

Por todo ello, el objetivo general perseguido es:

- La evaluación de distintas técnicas de estimulación o priming para la obtención de plántones de lavandín con mejores defensas y una mayor capacidad adaptativa frente al estrés hídrico y altas temperaturas, y además, con un mejor desarrollo morfológico que los permita no sólo obtener una mayor probabilidad de supervivencia posterior en campo, sino incrementar los rendimientos del cultivo.

Para atender a este objetivo general, se desarrollarán los siguientes objetivos parciales:

- Evaluar y comparar la capacidad bioestimulante de distintos aminoácidos sobre los plántones de lavandín, analizando su respuesta morfológica y fisiológica.
- Evaluar y comparar la capacidad bioestimulante de distintos microorganismos sobre los plántones de lavandín, analizando su respuesta morfológica y fisiológica.
- Evaluar la capacidad de la técnica de priming por sequía sobre los plántones de lavandín, estudiando su respuesta morfológica y fisiológica.

Como objetivos indirectos se pueden señalar los siguientes:

- Fomentar el empleo de prácticas agronómicas sostenibles, como la diversificación de cultivos.
- Fomentar el cultivo de PAMs, que se ha demostrado beneficioso para biodiversidad.
- Fomentar el consumo de aceites y esencias de PAMs, al haberse demostrado sus beneficios para la salud humana y animal, en detrimento de otros tipos de productos sintéticos más perniciosos.
- Apoyar la creación de plantas de procesamiento de PAMs para, de este modo, contribuir a la dinamización de las áreas rurales y a mitigar su pérdida de población.



## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1. Material vegetal

Para este estudio se utilizaron estaquillas de lavandín de la variedad Super. La edad de las plantas madre de las estaquillas era de 5 años, y éstas se localizaban en una parcela de Palencia (Castilla y León, España). En la tabla 4 se pueden ver las características geográficas de Palencia.

**Tabla 4.** Características geográficas de Palencia (Castilla y León, España).

<b>Altitud</b>	749 m sobre el nivel del mar
<b>Coordenadas</b>	42°1'0" N, 4°32'0" O
<b>Clima (Clasificación de Köppen)</b>	Csb: Clima templado con verano seco y suave (IGN, 2019).

Las estaquillas se adquirieron a los viveros de la fundación “Villa San José” (<https://villasan jose.es/centro-de-dia/>). Es preciso mencionar la labor social de esta fundación, que emplea en sus viveros a personas con discapacidad, fomentando así su inclusión social y su puesta en valor como activos indispensables de la vida social y laboral.

El estudio en su totalidad se llevó a cabo en la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias (ETSIIAA) de Palencia. Para el desarrollo de los plantones de lavandín se utilizaron dos tipos de envases forestales (ver apartado 4.3. Diseño experimental). Todos los envases se rellenaron con el mismo sustrato: turba comercial PINDSTRUP 50028 (estructura media). Se emplearon estaquillas de unos 15 cm de longitud. Éstas se introdujeron en el sustrato el mismo día de su recepción, a principios del mes de marzo de 2022, esto se hizo siguiendo la misma metodología, excepto para aquellas púas que recibirían algún tratamiento previo a su estaquillado, como son los tratamientos 1, 4 y 5 (ver apartado 4.3. Diseño experimental).

### 4.2. Material bioestimulante

El material bioestimulante utilizado en este ensayo se compuso de 4 productos comerciales a base de aminoácidos, microorganismos, y hormonas. Además de los tratamientos individuales, se efectuó una combinación de tratamientos diferentes para observar el efecto de su interacción. Esto resultó en un total de 5 tratamientos, cuyas características principales se pueden ver en la tabla 5, y que posteriormente se desarrollarán en sus correspondientes apartados. Por discreción, en este Trabajo de Fin de Máster no se utilizarán los nombres comerciales de los productos testados, sino que se hará referencia a ellos por un nombre genérico. De este modo, pondremos el foco en los bioestimulantes, al margen de marcas comerciales.

**Tabla 5.** Relación de tratamientos bioestimulantes utilizados y el tipo de sustancia empleada.

<b>TRATAMIENTO BIOESTIMULANTE</b>	<b>TIPO</b>
TRATAMIENTO 1	Aminoácidos
TRATAMIENTO 2	Microorganismos: Micorrizas y rizobacterias
TRATAMIENTO 3	Microorganismos: Micorrizas y hongo endófito
TRATAMIENTO 4	Fitohormona: Ácido Indol butírico
TRATAMIENTO 5	Aminoácidos + Microorganismos

#### 4.2.1. TRATAMIENTO 1

El TRATAMIENTO 1 es un bioestimulante líquido comercial compuesto por aminoácidos, fertilizante NPK y microelementos. En la tabla 6 se puede ver su composición concreta. Asimismo, en la tabla 7 se desglosa su contenido en aminoácidos en sus distintos tipos. Este producto está indicado como un favorecedor del enraizamiento.

**Tabla 6.** Contenido declarado del TRATAMIENTO 1.

<b>Sustancia</b>	<b>Contenido (% p/p)</b>
Aminoácidos libres	4
Nitrógeno total	4
Desglose de este N:	
Nitrógeno amoniacal	1,9
Nitrógeno nítrico	0,3
Nitrógeno orgánico	1,8
Pentóxido de fósforo soluble en agua	8
Óxido de potasio soluble en agua	3
Boro soluble en agua	0,03
Hierro soluble en agua	0,1
Hierro quelado por EDDHA	0,1
Zinc soluble en agua	0,02
Zinc quelado por EDTA	0,02

**Tabla 7.** Composición del TRATAMIENTO 1 en aminoácidos (en % p/p)

TRP 0,13%	PRO 0,23%	MET 0,41%	PHE 0,06%
ASP 0,15%	HIP 0,20%	ALA 0,34%	LYS 0,03%
SER 0,11%	ARG 0,27%	TYR 0,04%	ILE 0,11%
GLU 1,06%	THR 0,04%	VAL 0,07%	LEU 0,06%
GLY 0,71%			

#### 4.2.2. TRATAMIENTO 2

El TRATAMIENTO 2 es un producto bioestimulante comercial en polvo. Está compuesto por una mezcla de microorganismos, entre los que se encuentran hongos micorrícicos, rizobacterias y microelementos quelatados. Este producto está pensado para aumentar la solubilidad de los nutrientes presentes en el sustrato y mejorar la absorción de agua. En la tabla 8 se detalla su composición concreta.

**Tabla 8.** Contenido declarado del TRATAMIENTO 2.

Sustancia	Contenido
Micorrizas: <i>Rhizoglopus irregulare</i> <i>Funneliformis mosseae</i> <i>Funneliformis caledonum</i>	5.000 propágulos/g 3.750 propágulos/g 3.750 propágulos/g
Rizobacterias ( <i>Bacillus licheniformis</i> y <i>Bacillus mucilaginosus</i> )	1·10 <sup>10</sup> UFC/g
Hierro soluble en agua y quelado por EDTA	6,3% p/p
Manganeso soluble en agua y quelado por EDTA	2,8% p/p
Boro soluble en agua	0,7% p/p
Zinc soluble en agua y quelado por EDTA	0,48% p/p
Cobre soluble en agua y quelado por EDTA	0,24% p/p
Molibdeno soluble en agua	0,24% p/p

#### 4.2.3. TRATAMIENTO 3

El TRATAMIENTO 3 es un bioestimulante comercial en polvo. Se trata de un producto a base de hongos micorrícicos de los géneros *Rhizoglopus* y *Funneliformis*, además de conidios y clamidosporas del hongo endófito *Pochonia chlamydosporia*. Este estimulante está dirigido a mejorar absorción de agua y nutrientes minerales del suelo por parte de la planta, incrementando su tolerancia frente el estrés hídrico. En la tabla 9 se detalla la composición de este producto.

**Tabla 9.** Contenido declarado del TRATAMIENTO 3.

Sustancia	Contenido
Micorrizas: <i>Rhizogloium irregulare</i>	1.680 propágulos/g
<i>Funneliformis mosseae</i>	1.260 propágulos/g
<i>Funneliformis caledonum</i>	1.260 propágulos/g
Hongo endófito: <i>Pochonia chlamydosporia</i>	1·10 <sup>8</sup> UFC/g

#### 4.2.4. TRATAMIENTO 4

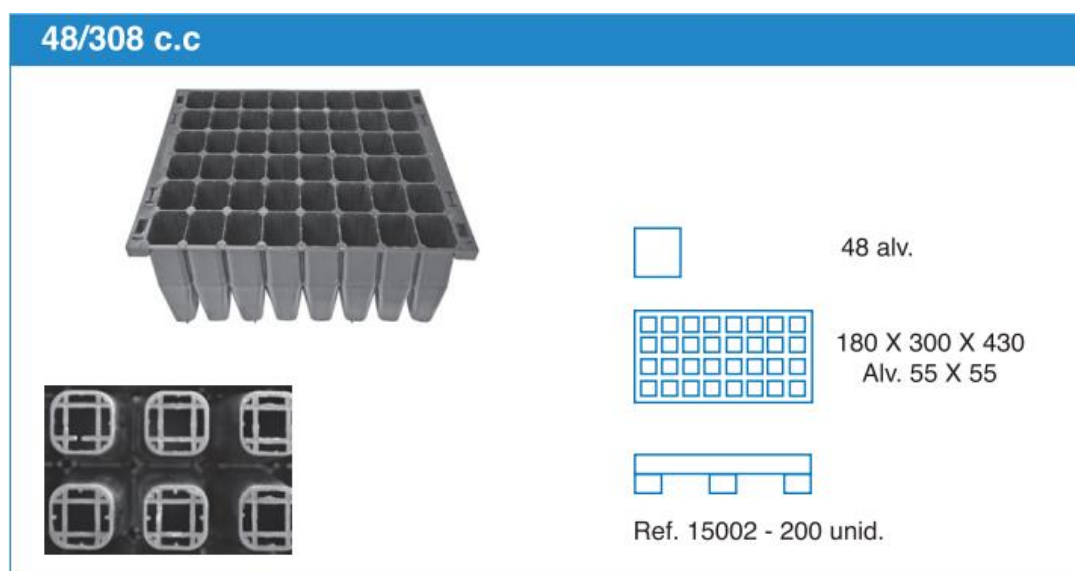
Se trata de un producto comercial líquido muy común en viveros. Está compuesto de la hormona ácido indol butírico (AIB) en una concentración de 4 g/L. Está indicado para la inducción de la emisión de raíces en material vegetal de propagación

#### 4.2.5. TRATAMIENTO 5

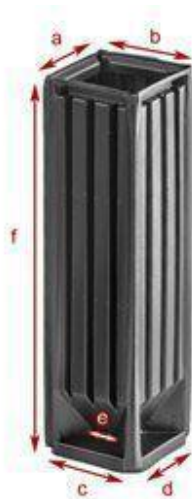
Para este tratamiento se mezclarán rigurosamente los productos empleados en los TRATAMIENTOS 1, 2 y 3.

### 4.3. Diseño experimental

Como ya se ha comentado en el apartado 4.1. Material vegetal, se utilizaron dos tipos de envases forestales. Por una parte, se utilizaron bandejas de cultivo clásicas de 48 alveolos (Figura 8). Por otra parte, también se utilizó envase forestal individual reutilizable (Figura 9). Los envases individuales tienen la ventaja de poder abrirse lateralmente, y así poder observar el desarrollo radicular con el objeto de determinar el momento óptimo para el inicio de los tratamientos bioestimulantes. Por otro lado, las bandejas de 48 alveolos se eligieron por su practicidad desde el punto de vista logístico, ya que después del estudio éstas se plantarían en el campo.



**Figura 8.** Características de la bandeja de cultivo de 48 alveolos.  
<https://arnabatagrica.com/producto/48-308-c-c/>

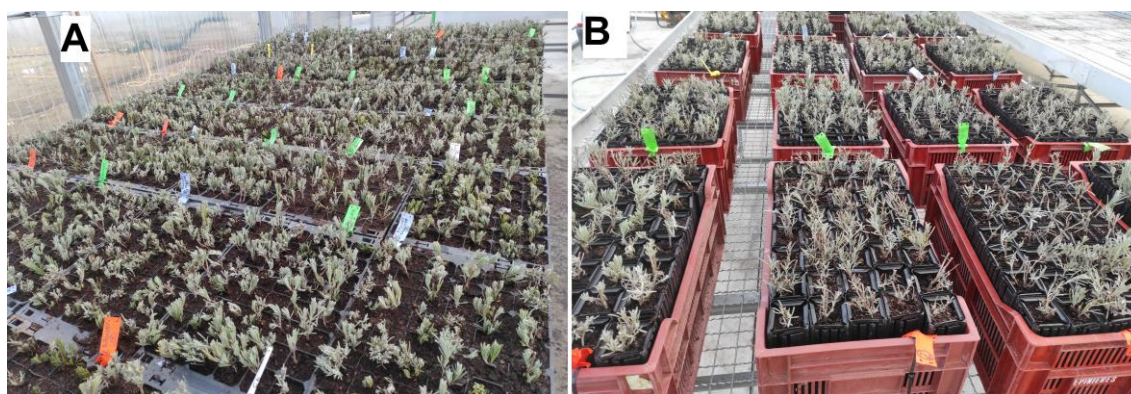


<b>cc:</b>	Contenido celda:	450 cc
<b>a x b:</b>	Medida superior celda:	5,0 x 5,0 cm
<b>c x d:</b>	Medida inferior celda:	5,0 x 5,0 cm
<b>e:</b>	Medida inferior útil:	2,0 x 2,0 cm
<b>f:</b>	Profundidad:	18,5 cm
	Galga:	0,30

**Figura 9.** Características del envase forestal individual reutilizable.

<https://agriprotector.com/es/cultivar-trufa/full-pot-trufa-detail>

Para este estudio se compararon los 5 tratamientos enumerados en la tabla 5, además de un grupo control que no recibió ningún tipo de bioestimulante, lo que resulta en 6 tratamientos. Para cada uno de estos 6 tratamientos se designaron 6 bandejas de cultivo de 48 alveolos, más 40 envases individuales (Figura 10). Todo esto resulta en 328 plantas de lavandín por tratamiento, y 1.968 plantas de experimento en total. Las plantas se alojaron desde su estaquillado hasta su estimulación por sequía en un vivero de la ETSIIAA, controlando de este modo el riego, y, por lo tanto, su grado de estrés hídrico. El estaquillado se efectuó a principios del mes de marzo. Para ello, primero se rellenaron los envases con turba y posteriormente se procedió al estaquillado del material vegetal. Se utilizó una estaquilla por alveolo, por lo que se emplearon 1.968 estaquillas en total. El vivero se regó por microaspersión. La dosis y la frecuencia de riego fueron a demanda, procurando que el sustrato tuviera humedad en todo momento salvo en los periodos en los que la planta fue sometida a un estrés hídrico.



**Figura 10.** (A) Disposición aleatoria de las bandejas de cultivo con distintos tratamientos. (B) agrupación por tratamientos en cajas de 40 envases forestales individuales.

Como ya se ha comentado, la bioestimulación se llevó a cabo con distintos productos a base de microorganismos, aminoácidos y hormonas. Para cada uno de ellos se desarrolló un protocolo de tratamiento específico según sus características y sus prescripciones técnicas. Hay que tener en cuenta que, hubo un tratamiento consistente

en la combinación de productos, es decir, para el TRATAMIENTO 5, el procedimiento empleado fue la suma estricta de los procedimientos seguidos para los tratamientos con un solo producto del que deriva. A continuación, se describe la metodología desarrollada para cada uno de los bioestimulantes estudiados.

- TRATAMIENTO 1: La primera dosis de este tratamiento tuvo lugar el día del estaquillado. Antes de introducir las estaquillas de lavandín en el sustrato, se sumergieron en una solución de producto en agua al 2‰ (2 mL/L) durante 8 h. La segunda dosis se llevó a cabo a los 100 días, aplicando 0,01 mL de producto por planta, disuelto en agua a una concentración final de un 0,1‰.
- TRATAMIENTO 2: De este producto se aplicaron dos dosis, la primera a los 10 días y la segunda a los 100 días del estaquillado. En ambas fechas la dosis de aplicación fue la misma: 0,2 g de producto/planta, disuelto en agua a un 2‰ de concentración final.
- TRATAMIENTO 3: Se siguió un procedimiento exacto al TRATAMIENTO 2. Se aplicaron dos dosis en las mismas fechas y con la misma dosis.
- TRATAMIENTO 4: Se aplicó un único tratamiento en el momento del estaquillado. El procedimiento seguido fue el siguiente: se humedeció la estaquilla por su base, para acto seguido impregnarla en el AIB sin diluir durante 5 segundos. Una vez transcurrido ese tiempo y tras dejar escurrir el producto sobrante, se introdujo la estaquilla en el sustrato.
- TRATAMIENTO 5: Se siguieron a la vez los procedimientos indicados para los TRATAMIENTOS 1, 2 y 3. Es decir, se aplicaron las dos dosis correspondientes al TRATAMIENTO 1, las dos dosis del TRATAMIENTO 2, y las dos dosis del TRATAMIENTO 3. Todas las dosis se aplicaron en los mismos momentos y concentraciones anteriormente especificadas para cada uno de los tratamientos.

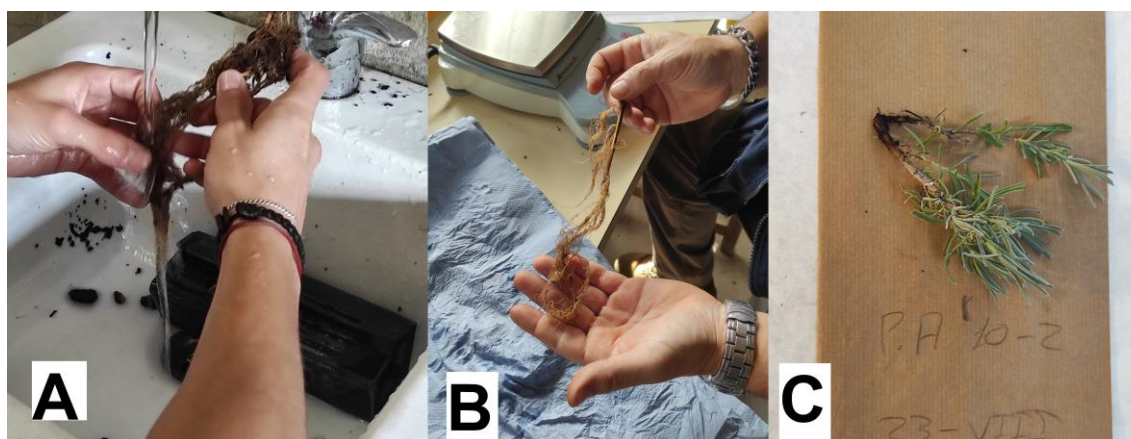
Es preciso destacar el hecho de que los días inmediatamente posteriores a los tratamientos de los 100 días se sucedieron unos 5-7 días de calor extremo. Durante estos días, por razones que se escaparon a nuestro control, los mecanismos de climatización del invernadero no se encontraban operativos, registrando el termómetro interior del invernadero temperaturas superiores a los 50 °C. Estas condiciones ambientales desfavorables fueron determinantes para el posterior desarrollo y resultados del trabajo (ver apartado 5. Resultados y discusión).

Con objeto de evaluar y comparar las técnicas de estimulación llevadas a cabo en el presente estudio, se realizaron 5 muestreos morfo-fisiológicos. El primero tuvo lugar a los 168 días del estaquillado, justo antes de iniciar el periodo de sequía. Mediante el primer muestreo se pretendía comparar la aptitud de los tratamientos bioestimulantes como promotores del crecimiento de las plantas. El día 168 tras el estaquillado se dio comienzo al periodo de estimulación por sequía. Para ello, las plantas que hasta el momento se encontraban en vivero siendo regadas a demanda, pasarían a ser colocadas en un terreno descubierto, a temperatura y humedad ambiente, y sin riego. El segundo y el tercer muestreo tuvieron lugar a los 7 y a los 14 días de estimulación por sequía para evaluar la capacidad de resistencia de las plantas ante el estrés abiótico. Tras estos 14 días de estrés hídrico las plantas fueron rehidratadas, es decir, se volvieron a regar. Finalmente, el cuarto y quinto muestreo tendrían lugar a los 7 y a los 14 días de rehidratación para evaluar la capacidad de resiliencia de las plantas para

retornar a sus condiciones fisiológicas previas al estrés, o si, por el contrario, alcanzaban un punto de no retorno.

Los muestreos se realizaron sobre las plantas alojadas en envase individual por su practicidad a la hora de su manipulación. Para cada muestreo se seleccionaron aleatoriamente 5 muestras de cada lote de tratamientos. Cada muestra se etiquetó según su tratamiento y número de repetición. Sobre cada muestra se tomaron a la vez medidas de carácter tanto morfológico como fisiológico. Es necesario comentar que las medidas eran destructivas con la muestra. Es decir, cada planta muestreada se eliminaba con su ensayo. Las medidas tomadas fueron las siguientes:

- Cálculo del contenido relativo en agua (CRA): Primero se extrajeron de la planta 15 hojas de forma aleatoria para registrar su peso fresco (PF). Acto seguido, las hojas fueron transferidas a un bote Falcon debidamente etiquetado según su número de muestra (y repetición), y se añadió agua destilada hasta cubrirlas. Posteriormente, se conservó el bote en una nevera a 4 °C durante 24 h. Una vez transcurrido ese tiempo, se abrieron los botes, se desechó el agua destilada y se colocaron las hojas sobre papel absorbente. Tras esto, se registró su peso turgente (PT). A continuación, se volvieron a introducir las hojas en los botes completamente secos, y se desecaron en una estufa a 60 °C durante una semana. Pasado ese tiempo, se sacaron los botes de la estufa y se tomó la medida del peso seco (PS) de las hojas. El contenido relativo de agua se calcula mediante la fórmula descrita por Ahmadi et al. (2019):  $CRA (\%) = (PF-PS) / (PT-PS) \cdot 100$ .
- Medida de biomasa aérea y radicular: En primer lugar, se separó la planta en parte aérea (PA) y parte radicular (PR) efectuando un corte en la zona del cuello de la raíz. Después se limpió la PR desmenuzando el cepellón y lavando con agua el sustrato restante. Una vez limpia, se secó con papel absorbente y se desechó la parte leñosa de la raíz perteneciente a la estaquilla, dejando solo las nuevas raíces emitidas (Figura 11 a y b). Después se introdujo en sobre de papel debidamente etiquetado y se obtuvo su peso fresco. Del mismo modo, con la PA, tras efectuar la medida de potencial hídrico que se describe más adelante, se introdujo su totalidad en un sobre para tomar su peso fresco (Figura 11 c). Posteriormente se introdujeron tanto los sobres de PA como de PR en una estufa 70 °C durante una semana. Transcurrida la semana, se obtuvo el peso seco de PR y PA.



**Figura 11.** (A) Lavado de parte radicular. (B) Secado y preparación de parte radicular para peso fresco. (C) Introducción de parte aérea en sobre de papel para peso fresco.

- Medida del potencial hídrico: Para esta medida se utilizó una cámara Scholander modelo M 1505D (PMS Instrument Co., EEUU) como la que se muestra en la figura 12. Para ello, se tomó la medida en el tallo principal de la planta, cortando sus ramificaciones y acortando su longitud si fuera preciso, con el objetivo de obtener un segmento de tallo con unos 5-10 cm de longitud y unos 3-7 mm de grosor, para tomar una medida fiable. Una vez se dispone del segmento de tallo, éste se introduce en la cámara Scholander cerrando el diafragma de esta sobre un entrenudo del tallo (Figura 13). El método consistió en introducir en la cámara gas a presión (en este caso fue N<sub>2</sub>) de forma gradual hasta que en el xilema del tallo apareciera un menisco (burbuja) de savia. En este preciso momento se anotó la medida de presión de gas que indicaba el manómetro. Esta medida coincide con el potencial hídrico de la planta. En ocasiones, ante un estrés hídrico muy prolongado, la planta alcanza un punto de no retorno en el que la tensión dentro de los conductos del xilema genera la cavitación de la columna de agua xilemática. Esto a su vez provoca en los conductos burbujas de aire que derivan en embolismos, y en última instancia, en la deshidratación total de los órganos de la planta (Lamacque et al., 2020). Este punto de no retorno se muestra en el ensayo de la cámara Scholander cuando la presión de gas se escapa a través de la muestra de tallo sin que logremos ver ningún menisco de savia e incluso puede llegar a expulsar bruscamente el tallo por efecto de la elevada presión.



**Figura 12.** Cámara Scholander modelo M 1505D. [https://mmm-tech.de/media/com\\_eshop/products/resized/m-1505d-exp-500x500.jpg](https://mmm-tech.de/media/com_eshop/products/resized/m-1505d-exp-500x500.jpg)

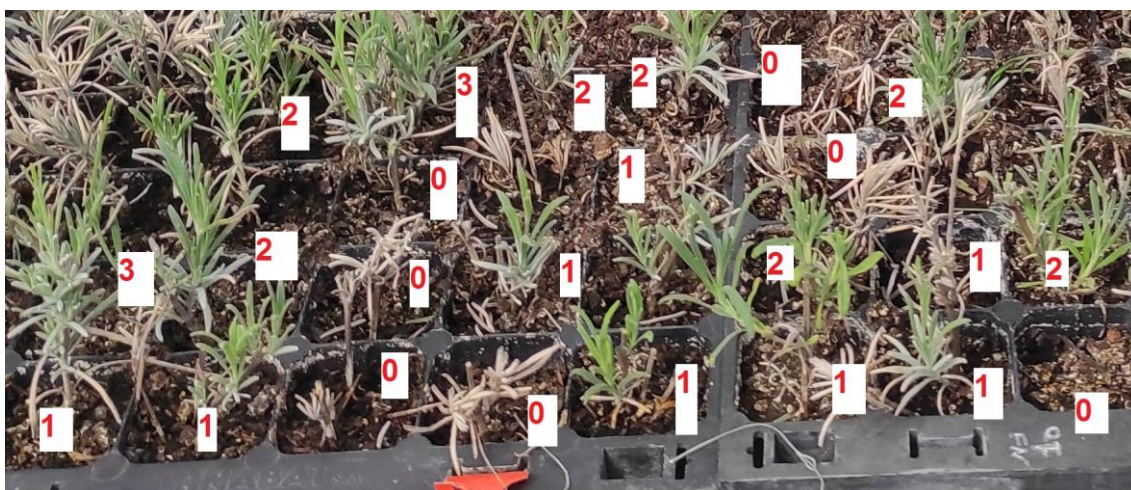




**Figura 13.** Introducción de tallo de planta en cámara Scholander para medida del potencial hídrico.

Con el objetivo de adquirir una información complementaria a nivel global del estado morfológico de las plantas de lavandín, se procedió a su evaluación durante distintos momentos a lo largo de su desarrollo. Para ello se comprobó visualmente el estado todas las plantas presentes en cada una de las bandejas del estudio. Cada planta fue clasificada según su estado en 4 categorías morfológicas (Figura 14):

0. Muerta: la planta está totalmente seca.
1. Moribunda: la planta muestra síntomas de decaimiento o marchitez.
2. Aceptable: la planta tiene un vigor intermedio, sin marchitez.
3. Bueno: la planta presenta un alto vigor, sin marchitez.



**Figura 14.** Clasificación de plantas según su categoría morfológica.

De forma simultánea a esta clasificación, se efectuó un conteo del número total de plantas de cada categoría presentes en cada una de las 6 bandejas pertenecientes a cada tratamiento (incluido el control), para posteriormente efectuar los análisis estadísticos correspondientes. El primer ensayo morfológico se llevó a cabo a los 80 días del estaquillado. El segundo ensayo de este tipo tuvo lugar a los 128 días del estaquillado, tras los tratamientos de los 100 días.

#### **4.4. Análisis estadístico**

Análisis de la varianza (ANOVA) y test de comparaciones múltiples fueron llevados a cabo para ver los efectos del priming sobre los parámetros morfológicos y fisiológicos. La normalidad de los datos y la homogeneidad de la varianza fue analizada para cada variable por medio del Test Shapiro y Bartlett, respectivamente. En aquellos casos que se cumplieron tanto la normalidad como la homogeneidad de varianzas, se efectuó un ANOVA clásico de un factor y un test HSD Tukey. Si por el contrario para aquellas variables en las que alguna de las dos condiciones no se cumplió, se aplicaron métodos robustos (García-Pérez, 2016). En concreto, se realizó un ANOVA de un factor y un test de comparaciones múltiples usando el procedimiento generalizado de Welch aplicando una transformación mediante un recorte de 0,1 de las colas. Para ello, se usó el paquete Wilcox' Robust Statistics (WRS2) implementado en el software R (Mair y Wilcox, 2020).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Muestreos morfo-fisiológicos sobre plantas en envase individual

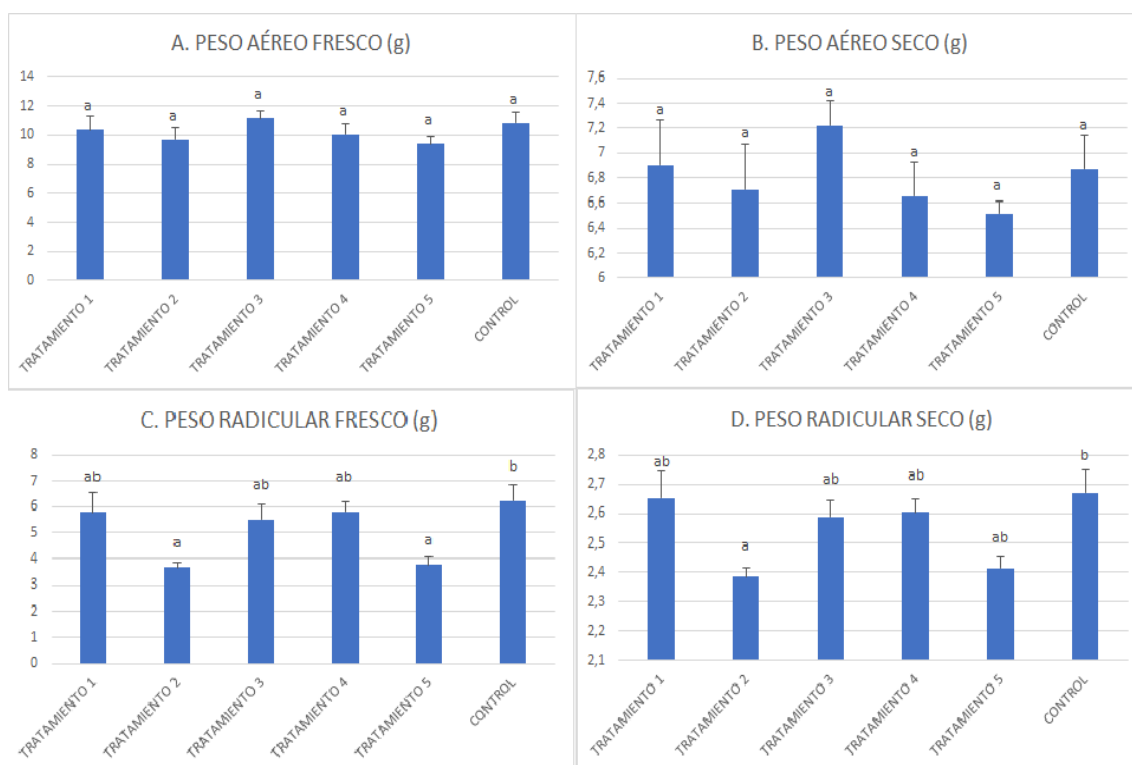
Tal y como se describe en el apartado 4. Material y métodos, para evaluar y comparar los efectos de las distintas técnicas de priming empleadas en este estudio, se efectuaron un total de 5 evaluaciones sobre una muestra aleatoria de plantas alojadas en envase individual. Se eligió el envase individual por las ventajas que éste brindaba a la hora del manejo de las plantas para su estudio. Para cada uno de los muestreos se tomaron 5 réplicas por cada tratamiento, incluido el grupo control. Todas las muestras se siguió la misma metodología de ensayo, tomando medidas de distintos parámetros, tanto morfológicos como fisiológicos. Los parámetros analizados fueron: contenido relativo en agua (CRA), medida de la biomasa aérea y radicular (tanto en fresco como en seco) y medida del potencial hídrico mediante cámara Scholander. En este apartado se van a presentar los resultados obtenidos de cada muestreo por cada uno de los parámetros analizados. Para una correcta interpretación de los datos es necesario recordar lo ya apuntado en el apartado 4.3. Diseño experimental: en los días siguientes a la aplicación de los tratamientos se sucedieron unos días de calor extremo, en los que los mecanismos de climatización invernadero no estuvieron operativos, registrándose dentro del vivero temperaturas superiores a los 50 °C.

#### 5.1.1. Primer muestreo

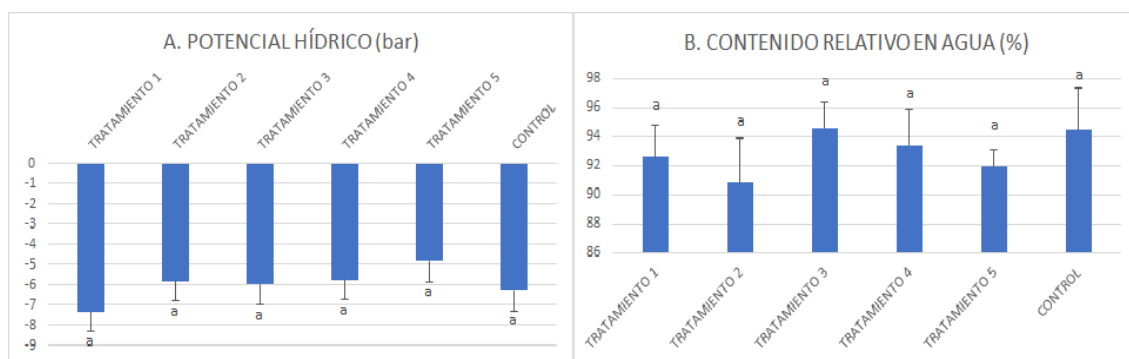
El primer muestreo tuvo lugar a los 168 días tras el estaquillado. En la figura 15 se representan los resultados de las medidas de biomasa aérea y radicular. En dicha figura se puede comprobar cómo en la parte aérea de la planta no se muestran diferencias significativas entre tratamientos. Tampoco se observaron diferencias significativas en las medidas de CRA, ni en el potencial hídrico (Figura 16). Donde sí se encontraron diferencias estadísticamente significativas fue en la parte radicular, concretamente en el TRATAMIENTO 2 basado en una mezcla de micorrizas, rizobacterias y una serie de micronutrientes y el TRATAMIENTO 5 (derivado del 2) frente al control (Figuras 15 c y d). En estos muestreos, los TRATAMIENTOS 2 y 5 mostraron los pesos radiculares más bajos. Estos resultados se alejaron de lo esperado, ya que los tratamientos administrados se componen de productos comerciales cuyos efectos beneficiosos están ampliamente testados. De hecho, el efecto beneficioso que tienen los hongos micorrícicos sobre el desarrollo de plantas de lavanda ha sido previamente demostrado por Popescu y Popescu (2022). Del mismo modo, se ha demostrado que las micorrizas también pueden mejorar el rendimiento y la calidad de los aceites esenciales de distintas aromáticas (Akachoud et al., 2022). Otros estudios muestran cómo la bioestimulación con rizobacterias mejoran el desarrollo radicular de distintas plantas y su capacidad de adaptación a la sequía (Armada et al., 2014; Pereira et al., 2020). Por el contrario, existen estudios que muestran cómo los bioestimulantes pueden no tener ningún efecto destacado sobre las plantas, o incluso, causar efectos desfavorables ante estreses de tipo biótico (microbiota patógena, plagas), o de tipo abiótico (alta insolación, bajo contenido de P en sustrato) (Kadowaki et al., 2018; Kalozoumis et al., 2021; Qu et al., 2021).

La falta de diferencias entre la mayoría de los tratamientos (Figuras 15 a y b, y 16 a y b) podría deberse a que el estrés por calor registrado en el invernadero tras su aplicación restara eficacia a los bioestimulantes o podría conllevar un estrés añadido, o incluso fitotoxicidad en el caso de los tratamientos 2 y 5. Está sobradamente demostrado que el tipo de bioestimulante aplicado, método, dosis y momento de aplicación

determina en gran medida su eficacia, pudiendo incluso ser contraproducente su aplicación (Heuer, 2003; Li et al., 2022). La fitotoxicidad observada en el presente estudio quedó patente también en los muestreos morfológicos cuyos resultados se comentarán más adelante (ver apartado 5.2.2. muestreo a los 128 días). Aunque no se llevaron a cabo estudios específicos para determinar la componente que generó la fitotoxicidad, todo apunta a que no fueron los hongos micorrícicos, sino que sería su contenido en micronutrientes (Fe especialmente) y/o rizobacterias los que habrían dado lugar a los efectos adversos sobre las plantas. Esta hipótesis se sustenta en que, tal y como se muestra en el apartado 4.2. Material bioestimulante, los TRATAMIENTOS 2 y 3 cuentan entre su composición con los mismos hongos micorrícicos, siendo éstos además de la misma cepa, al pertenecer ambos productos a la misma casa comercial, pero en el TRATAMIENTO 3 no se observó ningún efecto negativo (Figuras 15 c y d). Además, Distéfano et al. (2017) demostró que el estrés por calor puede generar ferroptosis en las plantas, patología en la que la presencia del Fe juega un papel regulador fundamental. Otras publicaciones indican los posibles efectos dañinos del exceso de Fe en las plantas (Anjum et al., 2015; Broschat y Moore, 2004; Harish et al., 2023; Tsai y Huang, 2006). Por otra parte, distintos estudios demuestran la capacidad de las rizobacterias para movilizar el Fe presente en el sustrato, poniéndolo a disposición de la planta (Rahimi et al., 2020; Uzoh y Babalola, 2020). En este sentido, es posible que las rizobacterias inoculadas en el TRATAMIENTO 2 agudizaran el efecto fitotóxico del Fe, dando lugar a un déficit de crecimiento radicular en las plantas inoculadas con dicho tratamiento.



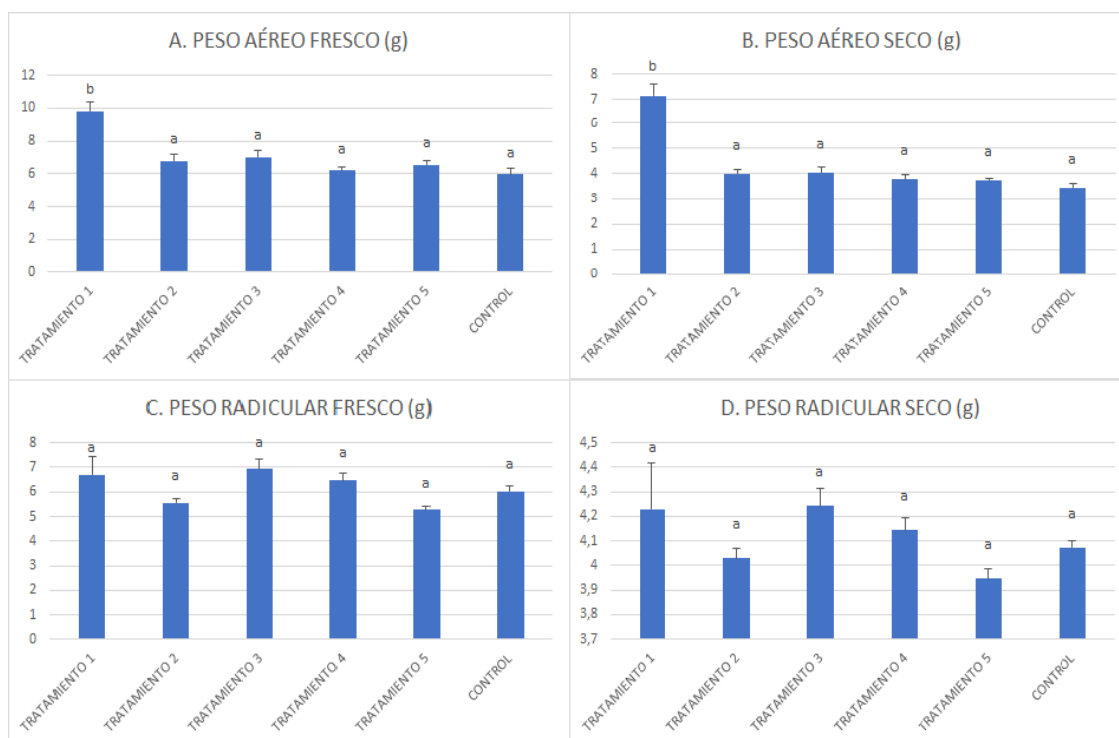
**Figura 15.** Resultados de los parámetros referentes a la medida de la biomasa del primer muestreo morfo-fisiológico sobre plantas en envase individual.



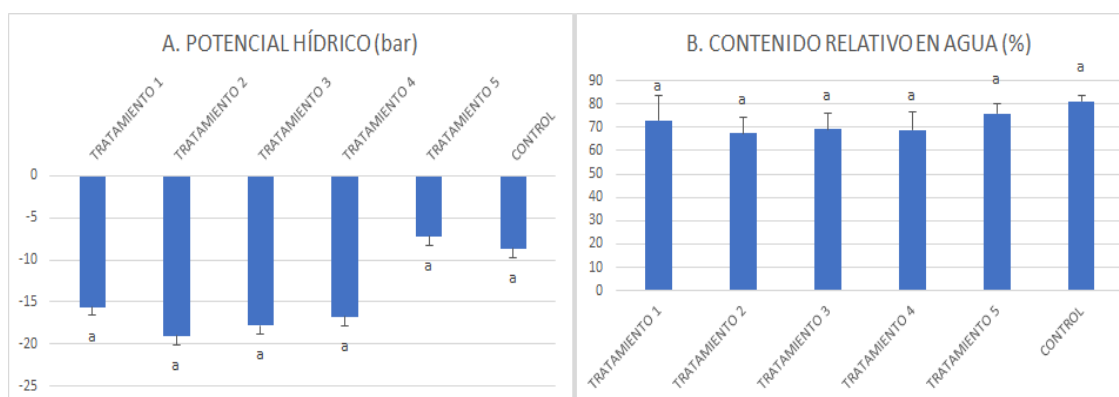
**Figura 16.** Resultados de los parámetros potencial hídrico (A) y contenido relativo en agua (B) del primer muestreo morfo-fisiológico sobre plantas en envase individual.

### 5.1.2. Segundo muestreo

El segundo muestreo se llevó a cabo tras someter a las plantas a 7 días de estrés por sequía. Para este muestreo se encontraron diferencias significativas en el peso aéreo (tanto en fresco como en seco) del TRATAMIENTO 1 frente al resto de tratamientos (Figura 17). Como se puede apreciar en las figuras 17 y 18, en el resto de los parámetros no hubo diferencias significativas entre tratamientos, entre sí y frente al control. Esto parece indicar que la acción de los aminoácidos combinada con el material fertilizante (NPK) del TRATAMIENTO 1 favoreció la generación de biomasa aérea, incluso en condiciones de calor y sequía. En este sentido, Elshorbagy (2020) obtuvo resultados similares, que indicaban el beneficio de la aplicación de aminoácidos y trazas de abonos NPK sobre el crecimiento y el rendimiento de plantas de lavanda. Otros estudios demostraron la capacidad de la aplicación de aminoácidos en distintas especies de plantas para combatir su estrés por sequía (Haghighi et al., 2020; Haider et al., 2021; Hammad y Ali, 2014). Estos resultados también concuerdan con el importante papel que tienen los aminoácidos sobre las plantas sometidas a diferentes tipos de estreses en lo referente a la regulación del transporte de iones, modulación en la apertura de estomas, la expresión génica, o la síntesis de determinadas enzimas, entre otros aspectos (Rai, 2002).



**Figura 17.** Resultados de los parámetros referentes a la medida de la biomasa del segundo muestreo morfo-fisiológico sobre plantas en envase individual.

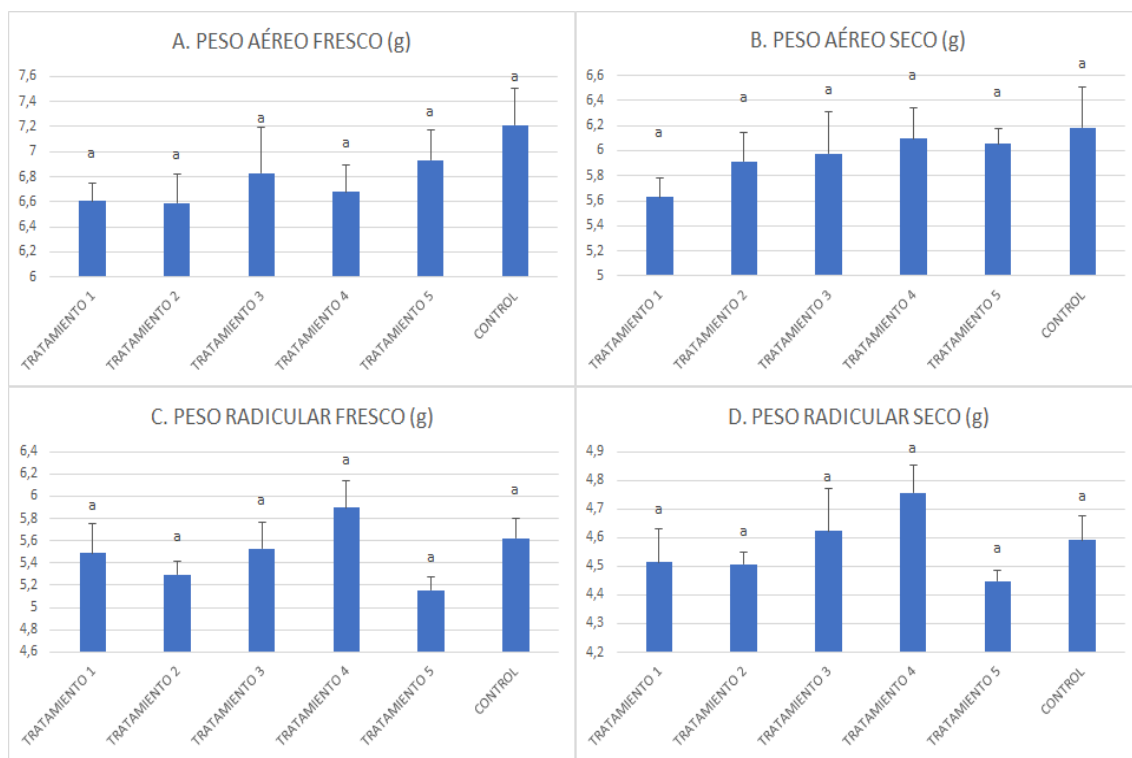


**Figura 18.** Resultados de los parámetros potencial hídrico (A) y contenido relativo en agua (B) del segundo muestreo morfo-fisiológico sobre plantas en envase individual.

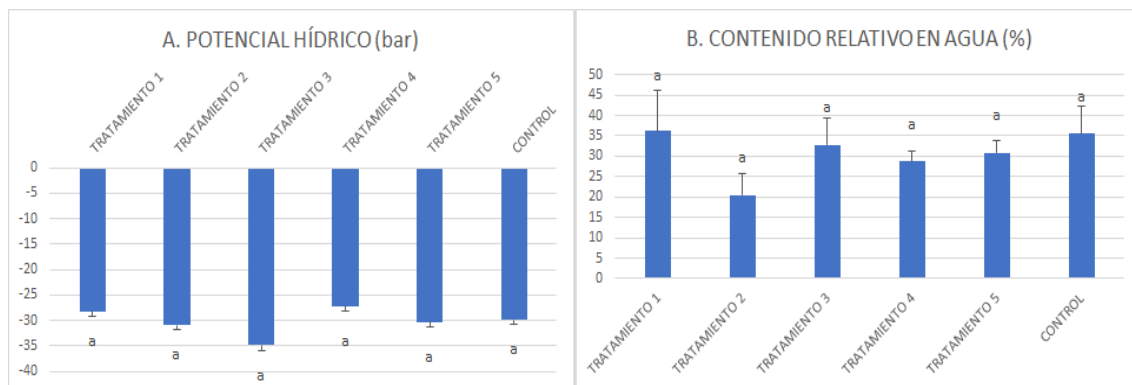
### 5.1.3. Tercer muestreo

El tercer muestreo tuvo lugar tras 14 días de estimulación por sequía de las plantas. Durante este muestreo las plantas acusaban un estado de deshidratación severa. En ninguno de los parámetros analizados encontramos diferencias significativas entre tratamientos (Figuras 19 y 20). Sin embargo, sí que se advirtió que, durante la medida del potencial hídrico, gran parte de las muestras examinadas se encontraban en estado de embolismo (ver 4.3. Diseño experimental). En la figura 20a se puede ver que los valores de potencial hídrico (aproximadamente entre los -40 y -20 bar, error incluido) no distaron del punto de no retorno determinado por Lamacque et al. (2020) entre los -38 y los -27 bar, aunque en dicho estudio, los experimentos se efectuaron sobre plantas no

bioestimuladas. La similitud entre los datos obtenidos y los datos de referencia, unido al hecho de que no se encontraron diferencias significativas en los parámetros analizados entre el control y los tratamientos, quiere decir que la bioestimulación no tuvo capacidad para contrarrestar los efectos negativos de un periodo de 14 días de sequía.



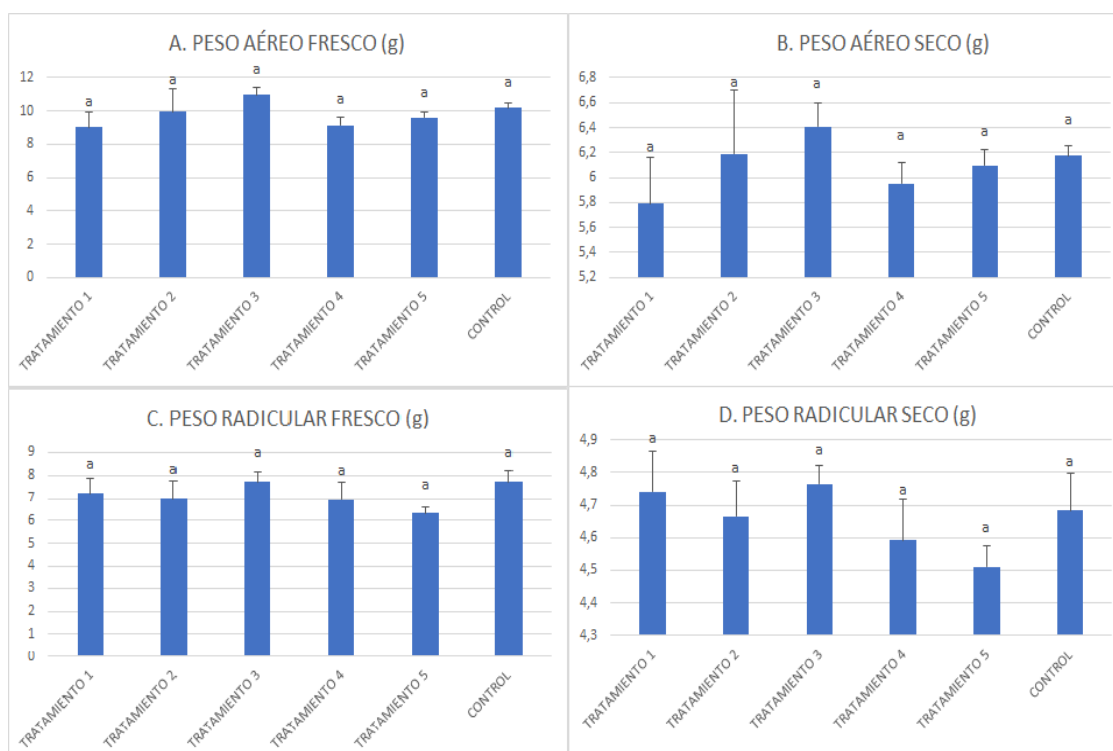
**Figura 19.** Resultados de los parámetros referentes a la medida de la biomasa del tercer muestreo morfo-fisiológico sobre plantas en envase individual.



**Figura 20.** Resultados de los parámetros potencial hídrico (A) y contenido relativo en agua (B) del tercer muestreo morfo-fisiológico sobre plantas en envase individual.

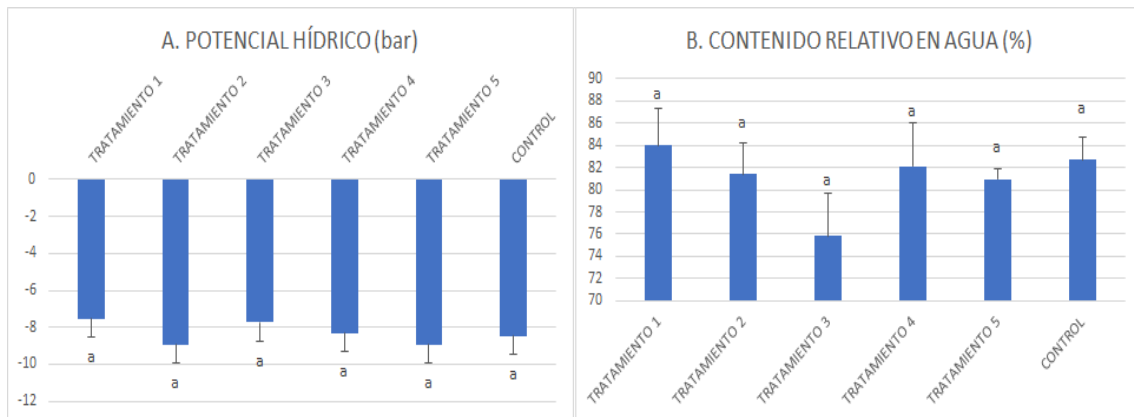
#### 5.1.4. Muestréos cuarto y quinto

Como se indica en el apartado 4.3. Diseño experimental, tras el tercer muestreo las plantas objeto de estudio se pasaron a rehidratación. El objetivo de estos muestreos es evaluar la respuesta de las plantas a la rehidratación, comprobando su capacidad de resiliencia para retornar a su estado anterior al estrés por sequía. Los muestreos cuarto y quinto se efectuaron tras 7 y 14 días de rehidratación respectivamente. Es conveniente recordar que los muestreos fueron destructivos para las plantas analizadas. Por lo tanto, ocurrió que, entre las plantas eliminadas en los muestreos y las que se fueron secando durante el transcurso del estudio, al quinto muestreo no llegaron individuos suficientes del TRATAMIENTO 2 para llevar a cabo los análisis estadísticos. Por esta razón, en las figuras 21, 22, 23 y 24 no existen datos referentes al este tratamiento. De las figuras se puede extraer que no se encontró ninguna diferencia significativa entre los tratamientos, ni para el cuarto ni para el quinto muestreo. Como ya se ha comentado, en el tercer muestreo se vio como una gran mayoría plantas alcanzaron el punto de no retorno, sin embargo, éste no era letal, y entre los muestreos cuarto y quinto las plantas consiguieron rehidratarse. Este suceso concuerda con lo descrito Lamacque et al. (2020), en el que las plantas se recuperaron de potenciales hídricos bastante menores a los -38 bar (ver apartado 5.1.3. Tercer muestreo). A pesar de ello, no se alcanzaron niveles morfo-fisiológicos previos al estrés hídrico. Todo esto pone de manifiesto que los bioestimulantes tampoco tuvieron influencia en la rehidratación tras el periodo de 14 días de estimulación por sequía. Ante estos resultados, quizás hubiera sido interesante haber llevado a cabo el proceso de rehidratación a los 7 días en vez de a los 14, para de esta forma comprobar si las plantas mostraban una mayor capacidad de resiliencia ante una sequía no tan prolongada.

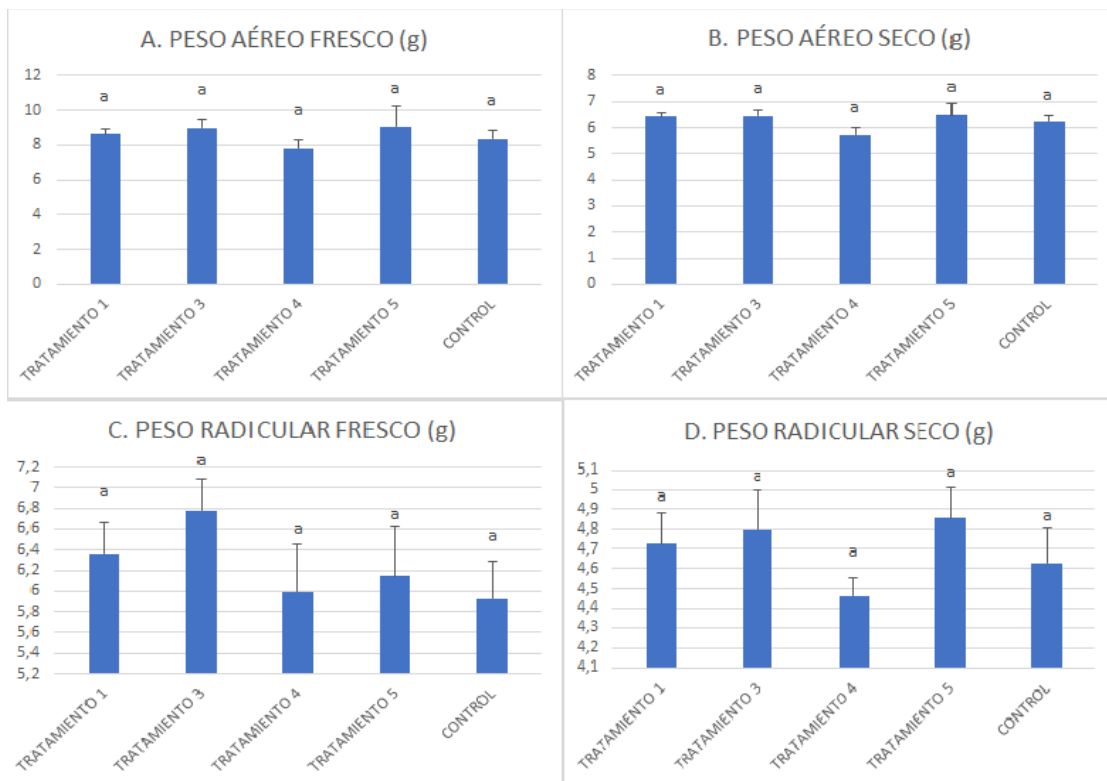


**Figura 21.** Resultados de los parámetros referentes a la medida de la biomasa del cuarto muestreo morfo-fisiológico (tras 7 días de rehidratación) sobre plantas en envase individual.

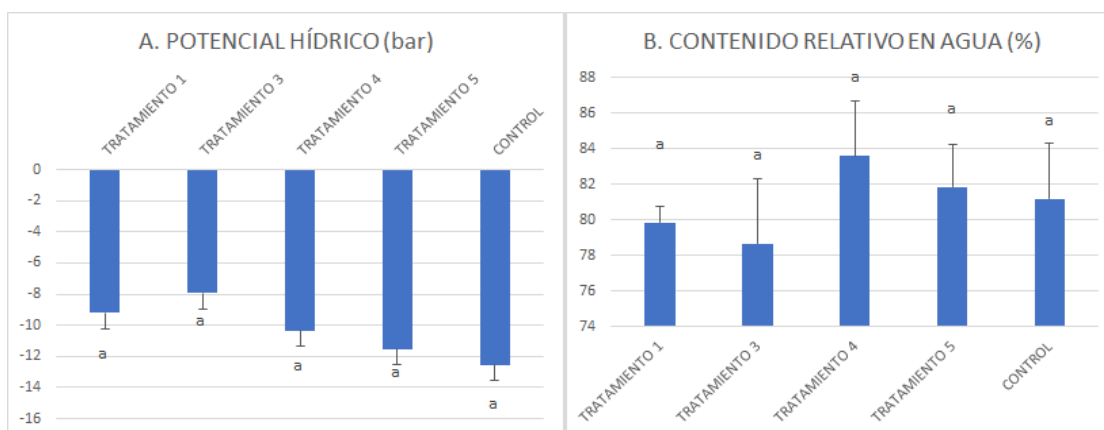




**Figura 22.** Resultados de los parámetros potencial hídrico (A) y contenido relativo en agua (B) del cuarto muestreo morfo-fisiológico (tras 7 días de rehidratación) sobre plantas en envase individual.



**Figura 23.** Resultados de los parámetros referentes a la medida de la biomasa del quinto muestreo morfo-fisiológico (tras 14 días de rehidratación) sobre plantas en envase individual.



**Figura 24.** Resultados de los parámetros potencial hídrico (A) y contenido relativo en agua (B) del quinto muestreo morfo-fisiológico (tras 14 días de rehidratación) sobre plantas en envase individual.

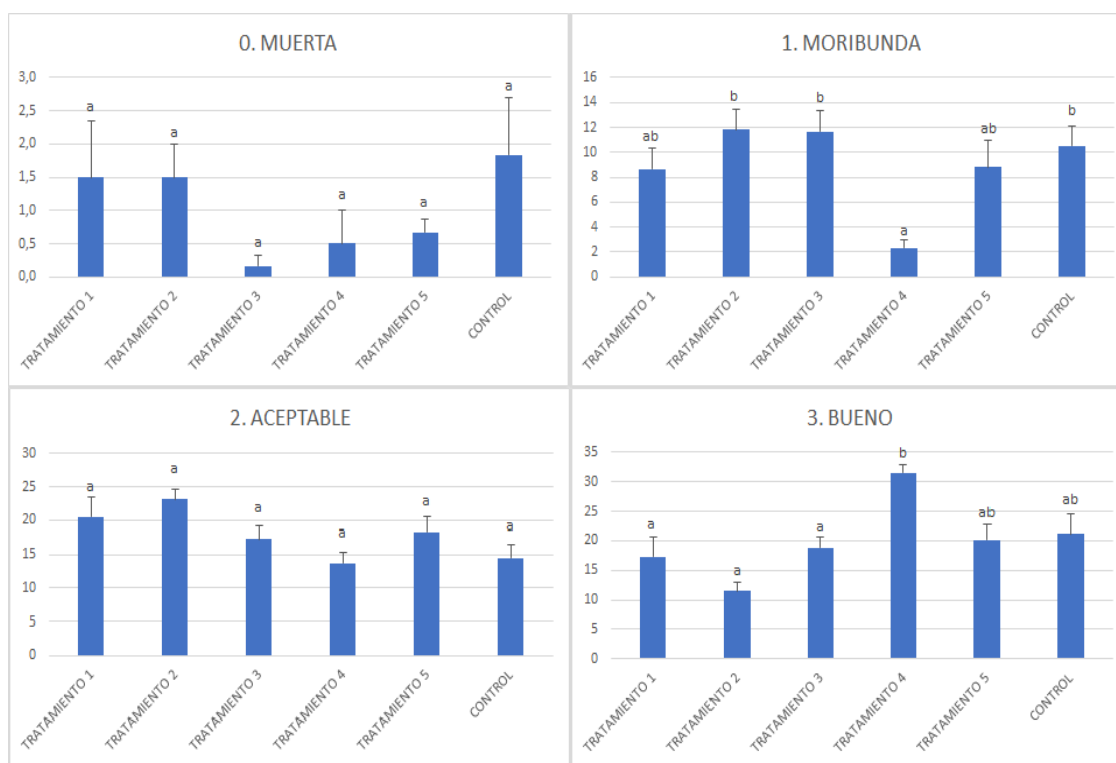
## 5.2. Muestreos morfológicos sobre bandejas forestales

Estos muestreos consistieron en una inspección visual del estado morfológico de las plantas alojadas en bandejas forestales de 48 alveolos, para después clasificar estas plantas en cuatro categorías según su estado observado. El mismo proceso se siguió para cada una de las 6 bandejas que componían la muestra de un tratamiento (6 réplicas). Los resultados estadísticos se muestran en función del número de plantas pertenecientes a cada categoría para una bandeja tipo. Es decir, aunque los datos se refieren a las 288 plantas que pertenecen a cada tratamiento (6 bandejas · 48 plantas/bandeja), los resultados se expresan en base 48 plantas. Con estos muestreos se pretendía obtener datos que respaldasen los muestreos morfo-fisiológicos sobre los envases individuales (ver apartado 4.3. Diseño experimental). A continuación, se detallarán los resultados de los dos muestreos morfológicos realizados sobre bandejas forestales.

### 5.2.1. Muestreo a los 80 días

El primer muestreo de esta índole tuvo lugar en el mes de mayo, a los 80 días del estaquillado. Mediante este muestreo se obtuvo una idea general del estado de desarrollo de las plantas hacia la mitad del ciclo de ensayo, después de haber aplicado únicamente la primera dosis de los tratamientos. Como se puede ver en la figura 25, dentro de las cuatro categorías solo se obtuvo diferencias significativas en las categorías “moribunda” y “bueno”. En la primera de ellas encontramos que hay un número significativamente menor de plantas con síntomas evidentes de marchitamiento que apuntaban a un estado crítico de la planta para el TRATAMIENTO 4 que para el control y los TRATAMIENTOS 2 y 3. En la categoría “bueno”, encontramos que el TRATAMIENTO 4 resulta mejor frente a los TRATAMIENTOS 1, 2 y 3. En este muestreo no encontramos ninguna otra diferencia entre tratamientos. Aunque son muy generales, los datos aquí expuestos revelan que posiblemente, a corto plazo, la bioestimulación de la planta de lavandín mediante la hormona AIB (TRATAMIENTO 4) sea más favorecedora de su desarrollo morfológico que el resto de bioestimulantes ensayados (excepto TRATAMIENTO 5), o que no aplicar nada (control). Es conveniente recordar que el TRATAMIENTO 4 estaba indicado para una única dosis de inoculación en el momento del estaquillado, mientras que el resto de los tratamientos fueron diseñados para 2 dosis, y no habían recibido la segunda en el momento del muestreo. Estas

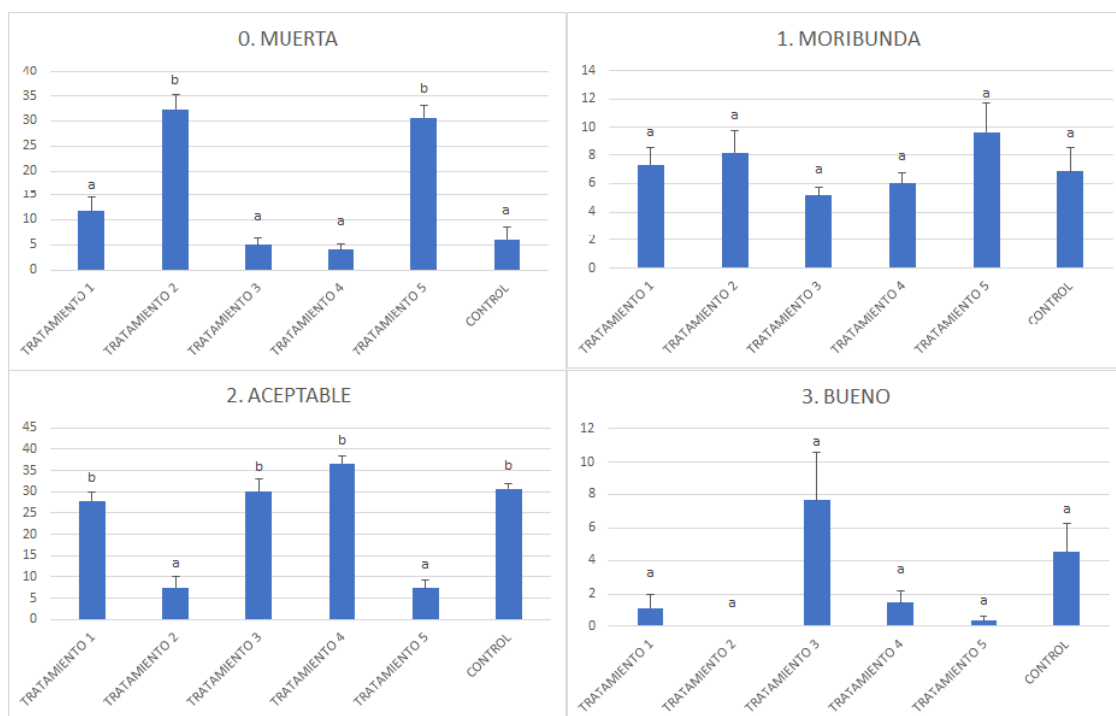
suposiciones concuerdan con el hecho de que fitohormonas como el AIB son enraizantes muy eficaces, y su empleo sobre estaquillas es una de las técnicas más importantes para la propagación vegetal en viveros (de Bona et al., 2010; Fernández, 2021; Guerrero, 2014).



**Figura 25.** Resultados del muestreo morfológico sobre bandejas forestales a los 80 días, divididos por categorías morfológicas.

### 5.2.2. Muestreo a los 128 días

Este muestreo tuvo lugar en el mes de julio, aproximadamente 20 días tras el episodio de calor extremo sufrido en el invernadero que ya se ha descrito con anterioridad. En la figura 26 se puede ver cómo existen diferencias estadísticamente significativas para las categorías “muerta” y “aceptable” entre los TRATAMIENTOS 2 y 5, y el resto de los tratamientos (incluido el control). En ambas categorías, estos tratamientos salen perjudicados con respecto al resto. Esto refuerza los datos expuestos en el apartado 5.1.1. Primer muestreo, y aunque los datos aquí expuestos se tomaran 40 días antes, la fitotoxicidad generada por los TRATAMIENTOS 2 y 5 junto al calor extremo ya se hicieron patentes.



**Figura 26.** Resultados del muestreo morfológico sobre bandejas forestales a los 128 días, divididos por categorías morfológicas.

## 6. CONCLUSIONES

1. Tras 7 días de estimulación por sequía se comprobó como los plantones estimulados con aminoácidos y fertilizante NPK presentaron un mayor desarrollo (PF y PS) en su parte aérea. Tras 14 días de estimulación por sequía no se encontraron diferencias entre tratamientos, lo que quiere decir que la bioestimulación no tuvo capacidad para contrarrestar los efectos negativos de la sequía. Sin embargo, se vio que las plantas alcanzaban un falso punto de no retorno en la medida del potencial hídrico. Después de 7 y 14 días de rehidratación tras la sequía inducida, las plantas consiguieron rehidratarse, aunque no retornaron a valores fisiológicos previos a la sequía. Todos estos resultados fueron similares a los encontrados en la bibliografía. En los muestreos de rehidratación tampoco se encontró diferencias entre tratamientos.
2. A los 80 días del estaquillado las plantas estimuladas con AIB mostraron un desarrollo morfológico mayor al resto, que solo habían recibido la primera de las dos dosis del tratamiento. Estos datos concuerdan con la bibliografía, y con el hecho de que el empleo de AIB como estimulante sea una de las técnicas más empleadas en producción en vivero hoy en día.
3. La bibliografía pone de manifiesto la capacidad bioestimulante de aminoácidos, hongos micorrícicos, fitohormonas y rizobacterias sobre distintas especies de plantas, y en concreto, sobre el lavandín (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.). Sin embargo, tras la aplicación de los tratamientos, en el invernadero ocurrió un episodio de calor extremo que restó eficacia a los bioestimulantes, y en el caso de los TRATAMIENTOS 2 y 5, generó un efecto adverso sobre el desarrollo de las plantas, condicionando así los resultados del estudio.
4. Es posible que el contenido en Fe de los TRATAMIENTOS 2 y 5, unido al calor extremo, generase fitotoxicidad en los plantones inoculados. Las rizobacterias incluidas en dichos tratamientos pudieron agudizar este efecto, movilizándolo para ponerlo a disposición de la planta.
5. Sería necesaria una investigación más extensa para analizar el comportamiento de los plantones en campo. No solo comparando bioestimulantes, sino también comparando distintos periodos de estimulación por sequía y evaluando el comportamiento de las plantas ante una sequía posterior en campo. Se podría incluso, añadir al estudio otras variedades de lavandín o de lavanda para obtener una información más completa. También resultaría oportuno efectuar un estudio económico que comparase el coste de los bioestimulantes con el coste de reposición de mallas y su pérdida de producción asociada. Por último, sería conveniente repetir el presente trabajo en condiciones rigurosamente controladas para después poder comparar resultados.

## 7. REFERENCIAS

- Aalmo, G. O., Gioli, B., Rodriguez, D. G. P., Tuomasjukka, D., Liu, H. Y., Pastore, M. C., Salbitano, F., Bogetoft, P., Sæbø, A., y Konijnendijk, C. (2022). Development of a Novel Framework for the Assessment and Improvement of Climate Adaptation and Mitigation Actions in Europe. *Frontiers in Sustainable Cities*, 4, 44. <https://doi.org/10.3389/FRSC.2022.833098/BIBTEX>
- Adjimoti, G. O., y Kwadzo, G. T. M. (2018). Crop diversification and household food security status: Evidence from rural Benin. *Agriculture and Food Security*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0233-x>
- Ahad, B., Shahri, W., Rasool, H., Reshi, Z. A., Rasool, S., y Hussain, T. (2021). Medicinal plants and herbal drugs: An overview. In: *Medicinal and Aromatic Plants* (Aftab, T., Hakeem, K.R.). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58975-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58975-2_1)
- Ahmadi, T., Shabani, L., y Sabzalian, M. R. (2019). Improvement in drought tolerance of lemon balm, *Melissa officinalis* L. under the pre-treatment of LED lighting. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139, 548-557. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2019.04.021>
- Akachoud, O., Bouamama, H., Facon, N., Laruelle, F., Zoubi, B., Benkebboura, A., Ghoulam, C., Qaddoury, A., y Lounès-Hadj Sahraoui, A. (2022). Mycorrhizal Inoculation Improves the Quality and Productivity of Essential Oil Distilled from Three Aromatic and Medicinal Plants: *Thymus satureioides*, *Thymus pallidus*, and *Lavandula dentata*. *Agronomy*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/agronomy12092223>
- Alarcón, M. R., Sánchez, A. M., y Hernández, E. (2022a). ¿Cómo mejorar la resiliencia de los sistemas de cultivos herbáceos de secano desde una perspectiva agroecológica? *Tierras*, 309,110-114. <https://www.researchgate.net/publication/361635896>
- Alarcón, M. R., Sánchez, A. M., y Hernández, E. (2022b). Rediseño de los sistemas cerealistas en secano: La diversificación de los cultivos. *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera*, 1067, 74-79.
- Anjum, N. A., Singh, H. P., Khan, M. I. R., Masood, A., Per, T. S., Negi, A., Batish, D. R., Khan, N. A., Duarte, A. C., Pereira, E., y Ahmad, I. (2015). Too much is bad—an appraisal of phytotoxicity of elevated plant-beneficial heavy metal ions. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(5). <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3849-9>
- Aranjuelo, I., Pérez-De-Luque, A., Prats, E., Igartua, E., Slafer, G. A., Araus, J. L., Aparicio, N., Giraldo, P., y Morcuende, R. M. (2022). Nuestra seguridad alimentaria depende de los cereales: España debe impulsar su investigación. *The Conversation*, 2022. <https://www.researchgate.net/publication/359230077> [consultado el 04-05-2023]

- Argyropoulos, D. (2019). Plant-based medicinal and cosmetic products. EIP-AGRI Focus Group. Discussion Paper. Comisión Europea. [https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/fg35\\_starting\\_paper\\_2019\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/fg35_starting_paper_2019_en.pdf) [consultado el 11-06-2023]
- Armada, E., Roldán, A., y Azcon, R. (2014). Differential Activity of Autochthonous Bacteria in Controlling Drought Stress in Native Lavandula and Salvia Plants Species Under Drought Conditions in Natural Arid Soil. *Microbial Ecology*, 67(2). <https://doi.org/10.1007/s00248-013-0326-9>
- Arnao, M. B., y Hernández-Ruiz, J. (2018). Melatonin and its relationship to plant hormones. *Annals of Botany*, 121(2), 195-207. <https://doi.org/10.1093/AOB/MCX114>
- Benkeblia, N. (2022). Climate change and agriculture: Perspectives, sustainability and resilience. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119789789>
- Bhar, A., Chakraborty, A., y Roy, A. (2022). Plant responses to biotic stress: Old memories matter. *Plants*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/plants11010084>
- Božović, M., Navarra, A., Garzoli, S., Pepi, F., y Ragno, R. (2017). Essential oils extraction: a 24-hour steam distillation systematic methodology. *Natural Product Research*, 31(20), 2387-2396. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1309534>
- Broschat, T. K., y Moore, K. K. (2004). Phytotoxicity of several iron fertilizers and their effects on Fe, Mn, Zn, Cu, and P content of African marigolds and zonal geraniums. *HortScience*, 39(3). <https://doi.org/10.21273/hortsci.39.3.595>
- Brox, L. C. (2018). El cultivo de frutos secos y las cubiertas vegetales. *Tierras de Castilla y León: Agricultura*, 268, 90-100.
- Caccialupi, G., Caradonia, F., Ronga, D., Ben Hassine, M., Truzzi, E., Benvenuti, S., y Francia, E. (2022). Plant Biostimulants Increase the Agronomic Performance of Lavandin (*Lavandula x intermedia*) in Northern Apennine Range. *Agronomy*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/agronomy12092189>
- Carswell, G. K., Johnson, C. M., Shillito, R. D., y Harms, C. T. (1989). O-acetyl-salicylic acid promotes colony formation from protoplasts of an elite maize inbred. *Plant Cell Reports*, 8(5), 282-284. <https://doi.org/10.1007/BF00274130/METRICS>
- Cases, M. A. (2007). Las plantas aromáticas y medicinales. Descripción de las especies fundamentales. Principios activos. *Jornadas Técnicas dedicadas a plantas aromáticas y medicinales*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Ministerio de Educación y Ciencia. <https://www.yumpu.com/es/document/view/23415099/jornadas-tacnicas-dedicadas-a-plantas-aromaticas-y-medicinales-inia> [consultado el 21-06-2023]
- Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Mann, M. E., Zhu, J., Wang, F., Locarnini, R., Li, Y., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Feng, L., Song, X., Liu, Y., Reseghetti, F., Simoncelli, S., ... Li, G. (2023). Another Year of Record Heat for the Oceans. *Advances in Atmospheric Sciences*, 40(6). <https://doi.org/10.1007/s00376-023-2385-2>

- Claire, J., Maria, B., Blaz, K., Serena, M., Mereu, V., y Melania, M. (2019). Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. *EEA Report*, 04/2019.
- De Bona, C. M., Biasi, L. A., Lipski, B., Masetto, M. A. M., y Deschamps, C. (2010). Adventitious rooting of auxin-treated *Lavandula dentata* cuttings. *Ciencia Rural*, 40(5), 1210-1213. Universidade Federal de Santa Maria. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782010005000081>
- De Lope, J. J. (2007). Proceso productivo de las plantas aromáticas y medicinales, técnicas de cultivo, recolección y destilación. Maquinaria específica. Nuevas tecnologías. *Jornadas Técnicas dedicadas a plantas aromáticas y medicinales*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Ministerio de Educación y Ciencia. <https://www.yumpu.com/es/document/view/23415099/jornadas-taccnicas-dedicadas-a-plantas-aromaticas-y-medicinales-inia> [consultado el 21-06-2023]
- Distéfano, A. M., Martin, M. V., Córdoba, J. P., Bellido, A. M., D'Ippólito, S., Colman, S. L., Soto, D., Roldán, J. A., Bartoli, C. G., Zabaleta, E. J., Fiol, D. F., Stockwell, B. R., Dixon, S. J., y Pagnussat, G. C. (2017). Heat stress induces ferroptosis-like cell death in plants. *Journal of Cell Biology*, 216(2). <https://doi.org/10.1083/jcb.201605110>
- Dong, H., Bai, L., Chang, J., y Song, C. peng. (2018). Chloroplast protein PLGG1 is involved in abscisic acid-regulated lateral root development and stomatal movement in *Arabidopsis*. *Biochemical and biophysical research communications*, 495(1), 280-285. <https://doi.org/10.1016/J.BBRC.2017.10.113>
- Dubois, M., Van den Broeck, L., y Inzé, D. (2018). The Pivotal Role of Ethylene in Plant Growth. *Trends in plant science*, 23(4), 311-323. <https://doi.org/10.1016/J.TPLANTS.2018.01.003>
- Elshorbagy, A. (2020). Effect of some amino acids concentration on growth and yield of lavender (*Lavandula officinalis*) plant under different NPK fertilization levels. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 47(4). <https://doi.org/10.21608/zjar.2020.110318>
- FAO (2020). *Uso de la tierra en la agricultura según las cifras | Alimentación y agricultura sostenibles* | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/sustainability/news/detail/es/c/1279267/> [consultado el 05-05-2023]
- Fernández, M. (2021). *Producción y composición del aceite esencial en poblaciones españolas de Lavandula latifolia Medik. Método de reproducción vegetativa [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]*. <https://oa.upm.es/69966/>
- Field, C. B., Barros, V. R., Mach, K. J., Mastrandrea, M. D., Aalst, M. van, Adger, W. N., Arent, D. J., Barnett, J., Betts, R., Bilir, T. E., Birkmann, J., Carmin, J., Chadee, D. D., Challinor, A. J., Chatterjee, M., Cramer, W., Davidson, D. J., Estrada, Y. O., Gattuso, J. P., ... Yohe, G. W. (2014). IPCC 2014 Impacts - Technical Summary. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working*



*Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

- Gallotte, P., Fremondière, G., Gallois, P., Bernier, J.-P. B., Buchwalder, A., Walton, A., Piasentin, J., y Fopa-Fomeju, B. (2020). *Lavandula angustifolia* Mill. and *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.: Lavender and Lavandin. In: *Medicinal, Aromatic and Stimulant Plants* (Novak, J. y Blüthner, W.-D.). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-38792-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-38792-1_6)
- García, M. L. (2020). *Los retos de la “nueva normalidad” para la medicina natural en la farmacia*. Farmaventas, 16-12-2020. <https://www.farmaventas.es/especiales/11037-los-retos-de-la-nueva-normalidad-para-la-medicina-natural-en-la-farmacia.html> [consultado el 13-07-2023]
- García, S. A. (2014). *Estudio comparativo del interés económico de los cultivos de viñedo y lavandín, dentro de la Denominación de Origen Ribera del Duero y fuera, en el Valle Esgueva [Trabajo de fin de Máster, Universidad de Valladolid]*. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/6571>
- García-Pérez, A. (2016). *Métodos avanzados de estadística aplicada: métodos robustos y de remuestreo*. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Gobierno de Castilla-La Mancha (2022). *Castilla-La Mancha mantiene su compromiso con las plantas aromáticas coincidiendo con el Día Mundial de la Tierra*. <https://www.castillalamancha.es/node/343283> [consultado el 06-08-2023]
- Guerrero, L. A. (2014). *Efecto de la fertilización en la producción de lavanda (Lavandula x intermedia Emeric ex Loisel. var. Grosso) y actividad biológica de su aceite esencial. [Tesis doctoral]* <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/2380>
- Haghighi, M., Saadat, S., y Abbey, Lord. (2020). Effect of exogenous amino acids application on growth and nutritional value of cabbage under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 272. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109561>
- Haider, I., Raza, M. A. S., Iqbal, R., Ahmad, S., Aslam, M. U., Israr, M., Riaz, U., Sarfraz, M., Abbas, N., Abbasi, S. H., Abbas, Z., y Aamer, M. (2021). Alleviating the Drought Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.) by Foliar Application of Amino Acid and Yeast. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 34(1). <https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2021/34.1.239.246>
- Hammad, S. A. R., y Ali, O. A. M. (2014). Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. *Annals of Agricultural Sciences*, 59(1). <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2014.06.018>
- Harish, V., Aslam, S., Chouhan, S., Pratap, Y., y Lalotra, S. (2023). Iron toxicity in plants: A Review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(8). <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i82145>

- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Roychowdhury, R., y Fujita, M. (2013). Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/ijms14059643>
- Herraiz, D., de Benito, B., y Sánchez, O. (2014). Variedades de lavandín: estudio de calidades y rendimientos. *Agricultura*, 972,304-308.
- Heuer, B. (2003). Influence of exogenous application of proline and glycinebetaine on growth of salt-stressed tomato plants. *Plant Science*, 165(4). [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(03\)00222-X](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00222-X)
- Iba, K. (2002). Acclimative response to temperature stress in higher plants: Approaches of gene engineering for temperature tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 53. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.100201.160729>
- Iglesias, A., Quiroga, S., Diz, A., y Garrote, L. (2011). Adapting agriculture to climate change. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 11(2), 109-122. <https://doi.org/10.7201/earn.2011.02.05>
- Iglesias, I., Foles, P., y Oliveira, C. M. (2021). El cultivo del almendro en España y Portugal: situación, innovación tecnológica, costes, rentabilidad y perspectivas. *Revista de Fruticultura*, 81. <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/21920>
- IGN (2019). Mapa de clasificación climática según Koppen1981-2010. *Atlas Nacional de España*. Instituto Geográfico Nacional. [http://atlasnacional.ign.es/wane/Archivo:Espana\\_Clasificacion-climatica-segun-Koppen\\_1981-2010\\_mapa\\_15815\\_spa.jpg](http://atlasnacional.ign.es/wane/Archivo:Espana_Clasificacion-climatica-segun-Koppen_1981-2010_mapa_15815_spa.jpg) [consultado el 23-09-2023]
- Innovatione-AgroFood Design (2020). *Cultivos rentables y en alza: lavanda, espliego y lavandín*. <https://innovatione.eu/2020/03/24/cultivos-rentables-alza-lavanda-espliego-lavandin/> [consultado el 11-06-2023]
- INRAE (2021). *Vid - Fitoplasmas Stolbur*. Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement. <http://ephytia.inra.fr/es/C/6071/VID-Fitoplasmas-Stolbur> [consultado el 23-07-2023]
- Kadowaki, K., Yamamoto, S., Sato, H., Tanabe, A. S., Hidaka, A., y Toju, H. (2018). Mycorrhizal fungi mediate the direction and strength of plant–soil feedbacks differently between arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal communities. *Communications Biology*, 1(1). <https://doi.org/10.1038/s42003-018-0201-9>
- Kalozoumis, P., Savvas, D., Aliferis, K., Ntatsi, G., Marakis, G., Simou, E., Tampakaki, A., y Karapanos, I. (2021). Impact of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Inoculation and Grafting on Tolerance of Tomato to Combined Water and Nutrient Stress Assessed via Metabolomics Analysis. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.670236>
- Klay, I., Gouia, S., Liu, M., Mila, I., Khoudi, H., Bernadac, A., Bouzayen, M., y Pirrello, J. (2018). Ethylene Response Factors (ERF) are differentially regulated by different abiotic stress types in tomato plants. *Plant science : an international*

- journal of experimental plant biology*, 274, 137-145.  
<https://doi.org/10.1016/J.PLANTSCI.2018.05.023>
- Koudahe, K., Allen, S. C., y Djaman, K. (2022). Critical review of the impact of cover crops on soil properties. *International Soil and Water Conservation*, 10(3). 343-354. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.03.003>
- Kurepin, L. V., Ivanov, A. G., Zaman, M., Pharis, R. P., Hurry, V., y Hüner, N. P. A. (2017). Interaction of glycine betaine and plant hormones: Protection of the photosynthetic apparatus during abiotic stress. In: *Photosynthesis: Structures, Mechanisms, and Applications* (Hou, H., Najafpour, M., Moore, G., Allakhverdiev, S.). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48873-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48873-8_9)
- Kuromori, T., Seo, M., y Shinozaki, K. (2018). ABA Transport and Plant Water Stress Responses. *Trends in Plant Science*, 23(6), 513-522.  
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.04.001>
- Lal, R. (2016). Feeding 11 billion on 0.5 billion hectare of area under cereal crops. *Food and Energy Security*, 5(4). <https://doi.org/10.1002/fes3.99>
- Lamacque, L., Charrier, G., dos Santos Farnese, F., Lemaire, B., Améglio, T., y Herbette, S. (2020). Drought-induced mortality: Branch diameter variation reveals a point of no recovery in lavender species. *Plant Physiology*, 183(4). <https://doi.org/10.1104/pp.20.00165>
- Li, J., Van Gerrewey, T., y Geelen, D. (2022). A Meta-Analysis of Biostimulant Yield Effectiveness in Field Trials. *Frontiers in Plant Science*, 13.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.836702>
- Lindsey, R., Dahlman, L., y Blunden, J. (2023). *Climate Change: Global Temperature | NOAA Climate.gov*. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature> [consultado el 21-07-2023]
- Liu, H., Able, A. J., y Able, J. A. (2022). Priming crops for the future: rewiring stress memory. *Trends in Plant Science*, 27(7). <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.11.015>
- Lokhandwala, A., y Hoeksema, J. D. (2019). Priming by arbuscular mycorrhizal fungi of plant antioxidant enzyme production: A meta-analysis. *Annual Plant Reviews Online*, 2(4), 1069-1083. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0680>
- Mair, P., y Wilcox, R. (2020). Robust statistical methods in R using the WRS2 package. *Behavior Research Methods*, 52(2). <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01246-w>
- Malamy, J., Carr, J. P., Klessig, D. F., y Raskin, I. (1990). Salicylic Acid: A Likely Endogenous Signal in the Resistance Response of Tobacco to Viral Infection. *Science*, 250, 1002-1004. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.250.4983.1002>
- MAPA (2020). *Informe anual de comercio exterior agroalimentario pesquero y forestal 2019*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

- [https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/informeanual2019\\_tcm30-542612.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/informeanual2019_tcm30-542612.pdf)
- MAPA (2022). *Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos en España, año 2021*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/esyrce/default.aspx>
- MAPA (2023). *Informe anual de comercio exterior agroalimentario pesquero 2022*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. [https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/informecomextanual2022\\_rev5\\_tcm30-657480.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/informecomextanual2022_rev5_tcm30-657480.pdf)
- Martínez, L. (2023). España, segundo exportador mundial de perfume, supera las 72.000 hectáreas de cultivo para aceites esenciales. *Diario Cinco Días* (23-06-2023). <https://cincodias.elpais.com/companias/2023-06-23/espana-segundo-exportador-mundial-de-perfume-supera-las-72000-hectareas-de-cultivo-para-aceites-esenciales.html> [consultado el 02-08-2023]
- Martínez, M. J. (2018). El anís dulce incrementa su superficie en Andalucía, con más de 9.500 hectáreas cultivadas. *Canal Agricultura*, 31-08-2018. <https://agricultura.ideal.es/2018/08/31/el-anis-dulce-incrementa-su-superficie-en-andalucia-con-mas-de-9-500-hectareas-cultivadas/> [consultado el 02-08-2023]
- Martinez-Medina, A., Flors, V., Heil, M., Mauch-Mani, B., Pieterse, C. M. J., Pozo, M. J., Ton, J., van Dam, N. M., y Conrath, U. (2016). Recognizing Plant Defense Priming. *Trends in Plant Science*, 21(10). <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.07.009>
- Mashabela, M. D., Piater, L. A., Dubery, I. A., Tugizimana, F., y Mhlongo, M. I. (2022). Rhizosphere Tripartite Interactions and PGPR-Mediated Metabolic Reprogramming towards ISR and Plant Priming: A Metabolomics Review. *Biology*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/biology11030346>
- Medina-Albaladejo, F. J., y Planas, J. (2018). Las bodegas cooperativas y la comercialización del vino en España durante el siglo XX. *Investigaciones de Historia Económica*, 16(1), 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.ihe.2018.04.001>
- Moré, E. (2008). Estudio de la situación actual del lavandín Super y coriandro en el marco del proyecto de cooperación territorial nuevas alternativas agrarias. Ed. *Centre Tecnologic Forestal de Catalunya. (CTFC)*.
- Moré, E. (2009). *Mercado y comercialización de plantas aromáticas y medicinales*. Innovación y Transferencia para el Desarrollo Rural (INTRADER). Ed. *Centre Tecnologic Forestal de Catalunya. (CTFC)*.
- Muñoz, F. (1993). *Plantas medicinales y aromáticas: estudio, cultivo y procesado*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Navarro, J. (2018). Cultivo de aromáticas para diversificar. *Tierras de Aragón*, 235, 23-24. <http://hdl.handle.net/10532/4180>

- 
- NCEI (2022). *Annual 2021 Global Climate Report*. National Centers for Environmental Information. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202113> [consultado el 04-08-2023]
- NCEI (2023). *Annual 2022 Global Climate Report*. National Centers for Environmental Information. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202213> [consultado el 04-08-2023]
- Oukala, N., Pastor, V., y Aissat, K. (2021). Bacterial endophytes: The hidden actor in plant immune responses against biotic stress. *Plants*, 10(5). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/plants10051012>
- Parry, M. (1990). The potential impact on agriculture of the greenhouse effect. *Land Use Policy*, 7(2). [https://doi.org/10.1016/0264-8377\(90\)90003-H](https://doi.org/10.1016/0264-8377(90)90003-H)
- Pascual, J. C., y Herrero, B. (2021). Plants for veterinary use in the Montaña Palentina region (Palencia, Spain). *Journal of Medicinal Plants Research*, 15(2). <https://doi.org/10.5897/jmpr2020.7068>
- Pereira, S. I. A., Abreu, D., Moreira, H., Vega, A., y Castro, P. M. L. (2020). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) improve the growth and nutrient use efficiency in maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. *Heliyon*, 6(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05106>
- Popescu, G. C., y Popescu, M. (2022). Role of Combined Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi, as a Sustainable Tool, for Stimulating the Growth, Physiological Processes, and Flowering Performance of Lavender. *Sustainability*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/su14020951>
- Qu, L., Wang, M., y Biere, A. (2021). Interactive Effects of Mycorrhizae, Soil Phosphorus, and Light on Growth and Induction and Priming of Defense in *Plantago lanceolata*. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.647372>
- Quan, J., Latzel, V., Tie, D., Zhang, Y., Münzbergová, Z., Chai, Y., Liu, X., y Yue, M. (2021). Ultraviolet B Radiation Triggers DNA Methylation Change and Affects Foraging Behavior of the Clonal Plant *Glechoma longituba*. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.633982>
- Rahimi, S., Talebi, M., Baninasab, B., Gholami, M., Zarei, M., y Shariatmadari, H. (2020). The role of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in improving iron acquisition by altering physiological and molecular responses in quince seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 155, 406-415. <https://doi.org/10.1016/J.PLAPHY.2020.07.045>
- Rai, V. K. (2002). Role of amino acids in plant responses to stresses. *Biologia Plantarum*, 45(4). <https://doi.org/10.1023/A:1022308229759>
- Ramírez-Carrasco, G., Martínez-Aguilar, K., y Álvarez-Venegas, R. (2017). Transgenerational defense priming for crop protection against plant pathogens: A hypothesis. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00696>

- Ramjegathesh, R., Samiyappan, R., Raguchander, T., Prabakar, K., y Saravanakumar, D. (2013). Plant-PGPR interactions for pest and disease resistance in sustainable agriculture. In: *Bacteria in Agrobiolgy: Disease Management* (Maheshwari, D.). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-33639-3\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-33639-3_11)
- Raza, A., Mubarik, M. S., Sharif, R., Habib, M., Jabeen, W., Zhang, C., Chen, H., Chen, Z. H., Siddique, K. H. M., Zhuang, W., y Varshney, R. K. (2023). Developing drought-smart, ready-to-grow future crops. *Plant Genome*, 16(1). <https://doi.org/10.1002/tpg2.20279>
- Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S. S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., y Xu, J. (2019). Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/plants8020034>
- Reboratti, C. (2010). *Agricultura, sociedad y ambiente: Miradas y conflictos*. Ed. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) Argentina. [https://biblioteca.clacso.edu.ar/Argentina/flacso-ar/20171109043005/pdf\\_30.pdf](https://biblioteca.clacso.edu.ar/Argentina/flacso-ar/20171109043005/pdf_30.pdf) [consultado el 14-06-2023]
- Ristaino, J. B., Anderson, P. K., Bebber, D. P., Brauman, K. A., Cunniffe, N. J., Fedoroff, N. V., Finegold, C., Garrett, K. A., Gilligan, C. A., Jones, C. M., Martin, M. D., MacDonald, G. K., Neenan, P., Records, A., Schmale, D. G., Tateosian, L., y Wei, Q. (2021). The persistent threat of emerging plant disease pandemics to global food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(23). <https://doi.org/10.1073/pnas.2022239118>
- Rojó, S. G. (2023). La superficie de aromáticas sube un 24% en cinco años en una apuesta por diversificar. *El Norte de Castilla*, 07-07-2023. <https://www.elnortedecastilla.es/somoscampo/superficie-aromaticas-suben-cinco-anos-apuesta-diversificar-20230707005037-nt.html> [consultado el 09-08-2023]
- Roser, C., Fanlo, M., Melero, R., Moré, E., y Muntané, J. (2006). Les plantes aromàtiques i medicinals. *Dossier tècnic*, 13. Direcció General de Producció, Innovació i Indústries agroalimentàries. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya.
- Saavedra, M. (2017). Presente y futuro del desarrollo de distintos tipos de cubiertas vegetales. *Phytoma España*, 293, 91-92.
- Saha, D., Choyal, P., Mishra, U. N., Dey, P., Bose, B., MD, P., Gupta, N. K., Mehta, B. K., Kumar, P., Pandey, S., Chauhan, J., y Singhal, R. K. (2022). Drought stress responses and inducing tolerance by seed priming approach in plants. *Plant Stress*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100066>
- Shafi, A., Hassan, F., Zahoor, I., Majeed, U., y Khanday, F. A. (2021). Biodiversity, management and sustainable use of medicinal and aromatic plant resources. In: *Medicinal and Aromatic Plants* (Aftab, T. y Hakeem, K.R.). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58975-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58975-2_3)

- Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V., y Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5).  
<https://doi.org/10.3390/insects12050440>
- Solé, T. T., Capdevila, R. A., y Márquez, M. G. (2014). La contratación de mano de obra temporal en la agricultura hortofrutícola española. *Ager*, 16.  
<https://doi.org/10.4422/ager.2013.03>
- Spina, D., Barbieri, C., Carbone, R., Hamam, M., D'Amico, M., y Vita, G. Di. (2023). Market Trends of Medicinal and Aromatic Plants in Italy: Future Scenarios Based on the Delphi Method. *Agronomy*, 13(7), 1703.  
<https://doi.org/10.3390/AGRONOMY13071703>
- Taghouti, I., Cristobal, R., Brenko, A., Stara, K., Markos, N., Chapelet, B., Hamrouni, L., Buršić, D., y Bonet, J. A. (2022). The Market Evolution of Medicinal and Aromatic Plants: A Global Supply Chain Analysis and an Application of the Delphi Method in the Mediterranean Area. *Forests*, 13(5).  
<https://doi.org/10.3390/f13050808>
- Truzzi, E., Benvenuti, S., Bertelli, D., Francia, E., y Ronga, D. (2021). Effects of biostimulants on the chemical composition of essential oil and hydrosol of lavandin (*Lavandula x intermedia* emeric ex loisel.) cultivated in tuscan-emilian apennines. *Molecules*, 26(20). <https://doi.org/10.3390/molecules26206157>
- Tsai, T. M., y Huang, H. J. (2006). Effects of iron excess on cell viability and mitogen-activated protein kinase activation in rice roots. *Physiologia Plantarum*, 127(4).  
<https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00696.x>
- Türkecul, B., y Yildiz, Ö. (2021). Medicinal and aromatic plant production, marketing and foreign trade. In: *Medicinal and aromatic plants: Economics production agricultural utilization and other aspects* (Ekren, S.). Iksad Publications.
- UNFCCC (2015). *Adoption of the Paris Agreement: Proposal by the President to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.  
<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf> [consultado el 06-06-2023]
- U.S. Global Change Research Program. (2018). Climate science special report: Fourth national climate assessment. *U.S. Global Change Research Program*, 1, 470.  
<https://doi.org/10.7930/J0J964J6>
- Usano-Aleman, J., Herraiz Peñalver, D., Cuadrado Ortiz, J., De Benito López, B., Sánchez Ruiz, O., y Palá-Paúl, J. (2011). Producción ecológica en los cultivos de lavanda en Cuenca (España). Estudio del rendimiento y calidad de sus aceites esenciales. *Botanica Complutensis*, 35, 147-152.  
[https://doi.org/10.5209/rev\\_bocm.2011.v35.13](https://doi.org/10.5209/rev_bocm.2011.v35.13)
- Uzoh, I. M., y Babalola, O. O. (2020). Review on increasing iron availability in soil and its content in cowpea (*Vigna unguiculata*) by plant growth promoting rhizobacteria. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 20(2). <https://doi.org/10.18697/AJFAND.91.18530>

- Valero-Valero, N. O., Vergel-Castro, C. M., Ustate-Morales, Y. E., y Gómez-Gómez, L. C. (2021). Bioestimulación de frijol guajiro y su simbiosis con *Rhizobium* por ácidos húmicos y *Bacillus mycoides*. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(2). <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1608>
- Verma, V., Ravindran, P., y Kumar, P. P. (2016). Plant hormone-mediated regulation of stress responses. *BMC plant biology*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/S12870-016-0771-Y>
- Vernooy, R. (2022). Does crop diversification lead to climate-related resilience? Improving the theory through insights on practice. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 46(6). <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2076184>
- Wang, X., Cai, J., Liu, F., Jin, M., Yu, H., Jiang, D., Wollenweber, B., Dai, T., y Cao, W. (2012). Pre-anthesis high temperature acclimation alleviates the negative effects of post-anthesis heat stress on stem stored carbohydrates remobilization and grain starch accumulation in wheat. *Journal of Cereal Science*, 55(3). <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.01.004>
- Wang, X., Liu, F. lai, y Jiang, D. (2017). Priming: A promising strategy for crop production in response to future climate. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(12). [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61786-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61786-6)
- Wesseler, J. (2022). The EU's farm-to-fork strategy: An assessment from the perspective of agricultural economics. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 44(4). <https://doi.org/10.1002/aep.13239>
- WildMAPsFiT. (2020). *European Medicinal and Aromatic Plant (MAP) Farming, Processing and Training Alliance: «Market Analysis on Wild MAP»*. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12208> [consultado el 11-06-2023]
- WMO (2023). *WMO Global Annual to Decadal Climate Update*. World Meteorological Organization. [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=22272](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22272) [consultado el 04-08-2023]
- Woodhouse, P. (2010). Beyond industrial agriculture? Some questions about farm size, productivity and sustainability. *Journal of Agrarian Change*, 10(3), 437-453. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0366.2010.00278.x>